This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Sci
080.
10.8

HARVARD COLLEGE LIBRARY

BOUGHT FROM THE INCOME OF THE FUND
BEQUEATHED BY
PETER PAUL FRANCIS DEGRAND
(1787-1855)
OF BOSTON

FOR FRENCH WORKS AND PERIODICALS ON THE EXACT SCIENCES
AND ON CHEMISTRY, ASTRONOMY AND OTHER SCIENCES
APPLIED TO THE ARTS AND TO NAVIGATION

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE PHYSIQUE.

ANNÉE 1887.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,

13166 Quai des Augustins, 55.

SÉANCES

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE
PAR DÉCRET DU 15 JANVIER 1881.

ANNÉE 1887.

PARIS,
AU SIÈGE DE LA SOCIÉTÉ,
44, RUE DE RENNES, 44.

1887

Sci 1080.40.8

HARVARD COLLEGE
MAR 12 1921
LIBRARY

Degrand fund

William Grosseteste
Ingénieur

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

SÉANCE DU 7 JANVIER 1887.

PRÉSIDENCE DE M. LE COLONEL SEBERT ET DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 décembre 1886 est lu et adopté.

Sur la proposition du Conseil et en vertu de l'Article IV des Statuts,

M. Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut,

est nommé à l'unanimité membre honoraire de la Société.

M. le Président déclare le scrutin ouvert pour la nomination du Vice-Président, du Secrétaire général, du Vice-Secrétaire, de l'Archiviste-Trésorier, de deux Membres pour la Commission du *Bulletin* et pour le renouvellement partiel du Conseil.

Sont élus :

Vice-Président : M. de Romilly,
Secrétaire général : M. Joubert,
Vice-Secrétaire : M. Rivière,
Membres de la Commission du Bulletin : MM. Bouty et Mascart.

Sont élus Membres du Conseil pour une période de trois années :

Membres résidants.	*Membres non résidants.*
MM. Carpentier,	MM. Colnet d'Huart (Luxembourg),
Foussereau,	Hagenbach (Bâle),
Lemonnier,	Rayet (Bordeaux).
Ploix.	

Sur la proposition du Conseil, la Société décide de nommer Membre non résidant M. Bienaymé, actuellement Membre résidant, qui vient d'être désigné au poste de Toulon. M. Girardet est élu pour le remplacer comme Membre résidant pendant les années 1887 et 1888.

M. le Président donne lecture de la lettre suivante qu'il a reçue de M. Guébhard, membre de la Société :

Paris, 29 décembre 1886.

Monsieur le Président,

Désireux de m'associer aux efforts constants que fait la Société française de Physique pour le développement de la science, et plus particulièrement dans le but de mettre sa très utile Bibliothèque circulante à même de répondre à toutes les exigences des travailleurs, je vous prie de vouloir bien faire accepter à la Société, à titre de don définitif, l'abandon que j'ai résolu de lui faire de mes appointements d'agrégé de Physique à la Faculté de Médecine, à partir de janvier prochain jusqu'à la fin de ma période d'exercice, qui, commencée à la suite du concours de 1883, doit prendre fin en novembre 1892.

Tout à votre disposition pour les formalités qu'il pourrait y avoir à remplir, je vous prie d'agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mes sentiments tout dévoués.

A. Guébhard.

M. le Président est chargé de transmettre à M. Guébhard les remerciements de la Société.

M. le Colonel Sebert, avant de quitter le fauteuil de la Présidence, rend compte des travaux de la Société pendant l'année qui vient de s'écouler, puis cède la présidence à M. Wolf, président pour l'année 1887.

M. le Secrétaire général signale une Note de M. Henri Dufour, de Lausanne, sur l'action qu'exerce un champ magnétique intense sur un liquide en mouvement, lorsque ce liquide a une forte tension superficielle et en même temps est très diamagnétique. La tension superficielle dépendant de l'orientation des molécules et un champ magnétique modifiant cette orientation, il était à prévoir que la vitesse d'écoulement d'un liquide devait être modifiée lorsqu'il traverserait un champ magnétique. L'expérience a vérifié cette supposition; elle a été faite de la manière suivante : Du mercure s'écoule par un tube capillaire horizontal placé entre les pôles d'un grand électro-aimant, le liquide s'échappe en décrivant une parabole, la veine est continue jusqu'à une petite distance de l'orifice, puis devient discontinue. Lorsque l'électro-aimant agit, la parabole est plus tendue; en même temps la partie continue de la veine s'allonge. Ce fait indique donc un *accroissement de vitesse* du mercure produit par l'action du champ magnétique. Or, d'après la loi de Poiseuille, la vitesse d'écoulement d'un liquide par un tube capillaire est $V = K \frac{PD^4}{L}$; $P =$ pression, $D =$ diamètre, $L =$ longueur et K est un coefficient particulier pour chaque liquide. M. Warburg a montré, entre autres, que, pour le mercure, la loi de Poiseuille est vraie; il résulte de l'expérience que nous venons de décrire que la valeur du *coefficient de frottement intérieur diminue* pour le mercure dans un champ magnétique.

M. Dufour se propose de *mesurer* la valeur de cette variation pour le

mercure et d'étendre ses recherches à d'autres liquides et aux gaz magnétiques et diamagnétiques.

L'expérience précédente peut en tout cas servir dans un Cours pour montrer à un nombreux auditoire les propriétés diamagnétiques du mercure.

Cette expérience vérifie aussi la loi formulée par Faraday, qu'un corps diamagnétique tend à se mouvoir suivant la ligne de plus grande pente dans un champ magnétique, en s'éloignant des points où ce champ magnétique est le plus intense.

M. Hugoniot signale plusieurs conséquences singulières et anomales auxquelles conduisent les formules théoriques relatives à l'écoulement des fluides élastiques. Les anomalies dont il s'agit sont relatives au calcul du *débit* d'un orifice, c'est-à-dire de la masse ou du poids du fluide qui, pendant l'unité de temps, traverse un orifice de section déterminée. On peut en donner plusieurs exemples :

1° Quand un gaz permanent s'écoule d'un réservoir où la pression est p_0 dans un milieu où la pression est p_1, le débit est une fonction de p_1 lorsque la pression d'amont p_0 reste la même. Or la pression d'aval p_1 diminuant de p_0 à zéro, il résulte des formules usuelles que le débit augmenterait d'abord, atteindrait un maximum pour une valeur de p_1 voisine de $\frac{1}{2} p_0$, puis qu'il décroîtrait ensuite indéfiniment, de sorte qu'il deviendrait nul en même temps que la pression d'aval.

2° M. Zeuner a calculé le poids de vapeur saturée et sèche qui, renfermée dans une chaudière à 14^{atm}, s'écoulerait à l'air libre par un orifice de section égale à l'unité et il l'a trouvé égal à 666^{kg} par seconde. Or, en appliquant les formules mêmes de M. Zeuner, on trouve que, si la pression extérieure était de 8^{atm}, le débit serait représenté par 2046^{kg}, nombre triple du précédent.

3° Le même auteur a étudié l'écoulement de l'eau bouillante sous pression qui se comporte tout autrement que les liquides ordinaires, parce qu'une partie de l'eau bouillante se convertit en vapeur pendant la détente. La pression dans la chaudière étant de 14^{atm}, le débit serait représenté par 1130 dans le cas de l'écoulement à l'air libre et par 8451 si la pression extérieure était de 12^{atm}.

Laissant de côté le cas particulier des gaz permanents, qui a été traité en détail dans un Mémoire étendu (1), M. Hugoniot se propose de montrer comment la théorie de l'écoulement des vapeurs doit être modifiée.

Il expose d'abord sommairement la théorie générale de l'écoulement des fluides élastiques, en supposant qu'il existe pendant la détente une relation déterminée entre la pression et la densité du fluide. Cette relation n'est autre que celle qui correspond à la détente dite *adiabatique*. Pour les gaz permanents, elle se réduit à la loi de Laplace.

Le *régime permanent* étant supposé établi, la masse fluide est décom-

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, novembre 1886.

posable en filets, chacun de ces filets étant constitué par le faisceau des trajectoires des molécules qui traversent un élément de surface infiniment petit.

La section d'un même filet varie d'un point à l'autre; c'est une fonction de la pression et il en est de même de la vitesse du fluide, d'après le théorème de Bernoulli. La densité et la vitesse du fluide ainsi que la section des filets sont donc des fonctions déterminées de la pression.

Dans les circonstances ordinaires de l'écoulement, la pression diminue constamment le long du filet, depuis la valeur p_0 qui correspond au milieu d'amont jusqu'à la valeur p_1 correspondant au milieu d'aval. La densité varie dans le même sens. La vitesse, au contraire, nulle à l'origine, où la pression est p_0, croît constamment le long du filet; sa plus grande valeur correspond à la pression p_1.

Quant à la section des filets, il existe, pour chaque valeur de la pression d'amont p_0, une valeur p' de la pression pour laquelle cette section devient minimum. Si la pression d'aval p_1 est supérieure à p', la section du filet est constamment décroissante; de sorte que la plus petite section est la section finale correspondant à la pression p_1. Lorsque, au contraire, la pression d'aval est inférieure à p', la section du filet est d'abord décroissante, puis croissante. Il existe ainsi un maximum de contraction sur chaque filet; et en ce point la pression est égale à p'.

On démontre qu'au point où se produit le maximum de contraction du filet, la vitesse du fluide est égale à la vitesse du son correspondant à la densité et à la pression en ce point.

M. Hugoniot assimile la veine fluide qui se produit dans l'écoulement à un filet unique dont les dimensions latérales, à la vérité, ne sont plus infiniment petites, et considère les résultats précédents comme lui étant très approximativement applicables.

Dès lors, deux cas sont à distinguer. Si la pression d'aval p_1 est plus grande que p', la plus petite section de la veine (section contractée) est la section finale où la pression est p_1. Si, au contraire, la pression d'aval est inférieure à p', la veine présente une contraction suivie d'une dilatation. Dans la section contractée la pression est égale à p' et indépendante de p_1.

La cause des anomalies qui ont été signalées au début consiste en ce que l'on regardait la section finale de la veine comme étant toujours la plus petite, ainsi que cela a lieu pour les fluides incompressibles.

Pour le calcul du débit, il faut toujours considérer la section contractée. A la vérité, il faudrait connaître le rapport de cette section à celle de l'orifice, ou le *coefficient de contraction.* Ce coefficient dépend de la nature de l'orifice et ne peut guère être déterminé que par l'expérience. Toutefois, quand l'orifice est muni d'un ajutage conique convergent, la contraction de la veine doit s'effectuer presque en entier dans l'ajutage et le coefficient de contraction doit fort peu différer de l'unité.

Supposant connu le coefficient de contraction, il faut distinguer deux cas pour le calcul du débit :

1° Si la pression d'aval p_1 est supérieure à p', le débit en poids est égal au produit de l'aire de la section contractée par la vitesse et le poids spécifique correspondant à la pression p_1.

2° Si la pression p_1 est inférieure à p', il faut multiplier l'aire de la section contractée par la vitesse et le poids spécifique correspondant à la pression p'.

C'est ce dernier cas qui se présente presque toujours dans la pratique, quand il s'agit de l'écoulement des mélanges de liquide et de vapeur saturée; aussi les nombres donnés par M. Zeuner doivent-ils être l'objet d'importantes corrections qui font disparaître toutes les anomalies.

Lorsqu'il s'agit de vapeur saturée primitivement sèche, on trouve que le rapport $\frac{p'}{p_0}$ est sensiblement constant et égal à 0,575. Il en résulte que, dans l'écoulement à l'air libre, la pression dans la section contractée est supérieure à celle d'aval dès que la pression dans la chaudière atteint 2^{atm}. Le rapport $\frac{p'}{p_0}$ augmente, du reste, en même temps que la proportion initiale de liquide et devient voisin de 0,85 pour le cas de l'écoulement de l'eau bouillante.

Les Tableaux suivants permettent d'apprécier l'importance des corrections qu'il faut faire subir aux nombres calculés par M. Zeuner:

Vapeur saturée sèche.

		Pression dans la chaudière.				
		2^{atm}.	4^{atm}.	7^{atm}.	10^{atm}.	14^{atm}.
Débit calculé	Zeuner.....	304	448	549	610	666
	Corrigé.....	305	607	1032	1472	2046

Eau bouillante.

		Pression dans la chaudière.			
		4^{atm}.	7^{atm}.	10^{atm}.	14^{atm}.
Débit calculé	Zeuner.....	1106	1116	1123	1130
	Corrigé.....	4230	6230	6850	8500

Les nombres renfermés dans ces Tableaux doivent être multipliés par la section de l'orifice exprimée en mètres carrés et par le coefficient de contraction pour obtenir en kilogrammes le poids du fluide qui s'écoule en une seconde.

Dans le cas de la vapeur saturée sèche, le débit G peut être représenté par la formule suivante

$$G = m\Omega(25,5 + 144,5\,n), \tag{1}$$

qui reproduit les résultats du calcul avec toute l'approximation désirable.

On a représenté par n la pression dans la chaudière en atmosphères, par Ω l'aire de l'orifice et par m le coefficient de contraction.

MM. Minary et Resal ont exécuté des expériences sur l'écoulement des vapeurs. Il était intéressant de comparer la formule (1) avec les résultats qu'ils ont obtenus. Un certain nombre de ces expériences ont été faites avec un ajutage conique et l'on a supposé que, dans ce cas, le coefficient de contraction m était sensiblement égal à l'unité.

La comparaison a fourni les résultats suivants :

		Pression dans la chaudière.						
		$1^{atm},95$.	$2^{atm},51$.	$3^{atm},04$.	$3^{atm},69$.	$4^{atm},20$.	$4^{atm},79$.	$5^{atm},37$.
Débit	mesuré.....	3,668	4,550	5,600	6,500	7,500	8,400	9,375
	calculé par la formule(1).	3,548	4,482	5,366	6,450	7,301	8,286	9,254

L'accord est très satisfaisant. Le débit observé est même légèrement supérieur à celui qui a été calculé, ce qui doit sans doute être attribué à ce que la vapeur qui s'écoulait n'était pas entièrement débarrassée de liquide.

ALLOCUTION DE M. LE COLONEL SEBERT,

PRÉSIDENT SORTANT.

Messieurs,

Le vote que vous venez d'émettre met fin à la mission que vous m'aviez confiée et, après l'éminent astronome que vous avez désigné déjà pour me remplacer, il appellera à vous présider, à son tour, un de nos confrères les plus dévoués.

Je suis heureux d'avoir à féliciter de ce choix M. Worms de Romilly, ce savant modeste qui a été un des précurseurs des électriciens dont les inventions se préparent à révolutionner l'industrie.

Avant d'inviter M. Wolf à me remplacer, je dois garder encore pendant quelques instants ce fauteuil pour passer avec vous la revue des évènements qui ont marqué, pour notre Société, l'année qui vient de s'écouler.

Cette année comptera parmi celles où nos pertes ont été les plus nombreuses, car quatorze de nos collègues nous ont été enlevés depuis moins d'un an.

Jamin, qui a succombé le premier, était un de nos fondateurs : il avait été l'un de nos premiers présidents et avait mérité le titre de membre honoraire que nos statuts réservent comme un hommage particulier aux physiciens éminents. Il a reçu de nous, à ses obsèques, les honneurs dus à sa haute situation.

Après lui, notre Société a perdu Lallemand, membre correspondant de l'Institut, doyen de la Faculté des Sciences de Poitiers, qui s'est fait connaître par ses travaux sur l'Optique; Le Blanc, professeur à l'École Centrale, vérificateur du gaz de la Ville de Paris, qui, bien que s'étant surtout occupé des Sciences chimiques, jouissait d'une grande autorité dans les questions de photométrie; Melsens, son intime ami, comme lui élève reconnaissant de Dumas : membre des Académies des Sciences et de médecine de Belgique, examinateur à l'École militaire, Melsens était un grand ami de notre pays et il lui a laissé, même après sa mort, des marques de sa sympathie. Il a fait de nombreux travaux originaux qui, sortant des sentiers battus, ont soulevé souvent de vives polémiques. Son nom restera spécialement attaché à la question du mode de construction des paratonnerres qui jusqu'à ses derniers moments a été sa grande préoccupation.

Nous avons à signaler encore la mort de Sourdeval, ancien président de la Société d'électricité, qui s'est signalé par l'impulsion donnée, il y a dix ans, aux premières applications en grand de l'éclairage électrique; celle de Guerout, le secrétaire du journal *la Lumière électrique;* celle aussi de Jules Duboscq, qui nous a donné tant de preuves de son dévouement quand il s'agissait d'apporter à l'organisation de nos séances le concours de son expérience consommée.

Puis viennent Meurien, pharmacien; Aubry, principal du Collège de Bône; Joly, directeur Ingénieur des Télégraphes; Duchesne, préparateur au Collège de France, Virgile Hépitès major, professeur à l'École spéciale de l'artillerie et du génie à Bucharest, le Dr Rigaud, et enfin Jennesson, ancien principal, qui, retiré à Xivry-le-Franc, continuait à suivre assidûment nos travaux et a voulu reconnaître par un legs généreux les services que lui a

rendus notre bibliothèque circulante dont il était, avec quelques-uns de nos confrères, retirés dans le voisinage, un des lecteurs persévérants et réguliers.

Malgré ces pertes si sensibles, notre Société a continué sa marche ascendante et elle a recruté dans l'année 44 nouveaux adhérents.

Elle compte aujourd'hui 679 membres, dont 359 habitent Paris, 231 sont fixés en province et 89 résident à l'étranger; le nombre de ses membres à vie, qui se développe plus rapidement encore, en proportion, s'élève aujourd'hui à 103. Notre situation est donc prospère et le ralentissement que je vous avais signalé l'an dernier, dans la progression de notre développement, ne s'est pas accentué davantage.

Nos séances ont continué à réunir un grand nombre d'auditeurs et ont été marquées par des Communications qui ont rivalisé entre elles d'intérêt et d'importance.

Sur les sujets d'Optique, nous avons eu la Communication de M. Potier, sur ses recherches faites avec M. Cornu pour la vérification de la loi de Verdet sur la rotation des rayons lumineux dans un champ magnétique; la présentation par M. Dufet de son nouveau microscope polarisant à refractomètre; la Communication de M. Mascart sur l'usage d'un photomètre pratique pour la mesure de l'intensité relative de l'éclairage; celle de M. Bouty sur le saccharimètre à franges et à lumière blanche de MM. Th. et A. Duboscq; celle encore de M. Mergier sur un appareil pour la démonstration expérimentale du grossissement de la loupe.

M. Léon Laurent nous a exposé ses méthodes pratiques pour l'exécution des objectifs destinés aux instruments de précision et pour la construction des prismes de Nichol et de Foucault.

M. le Dr Boudet de Pâris nous a présenté ses épreuves photographiques obtenues par l'effluve électrique et M. Colson ses épreuves obtenues sans objectifs. M. Raphaël Dubois nous a communiqué ses remarques sur la lumière émise par les insectes lumineux du Brésil.

Les recherches d'Acoustique nous ont valu l'exposé de la

théorie de la gamme par M. Robin, celui des expériences de MM. Violle et Vautier sur la propagation du son dans les tuyaux cylindriques et la présentation de l'appareil ingénieux de M. Violle pour rendre visibles par projection les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire; enfin M. Carpentier nous a fait voir l'illusion produite par son nouveau batteur de mesure à distance.

Dans un ordre d'idées différentes, nous avons entendu les intéressantes Communications que M. Schwedoff nous a apportées de si loin concernant la nature du mouvement cyclonique de l'atmosphère et sur un phénomène électromagnétique curieux.

M. Hugoniot a traité la question de la vitesse limite d'écoulement des gaz, qui a plus d'une fois divisé les physiciens et qui soulève encore en ce moment de vives controverses. Il doit compléter aujourd'hui même cette Communication par des considérations sur l'écoulement des fluides et spécialement des vapeurs saturées. M. Worms de Romilly nous a montré les nouveaux perfectionnements de sa machine rotative élévatoire basée sur l'utilisation des phénomènes d'écoulement des gaz qu'il a si bien observés.

M. Cailletet nous a exposé les observations qu'il a faites, de concert avec M. Mathias, sur la densité des gaz liquéfiés et de leurs vapeurs saturées.

D'autre part, M. Wolf nous a décrit les méthodes suivies dans la construction des étalons du système métrique et M. Guillaume nous a résumé ses études si complètes sur les thermomètres à mercure.

M. Le Châtelier a traité la question de la mesure des températures élevées par les couples thermo-électriques.

M. d'Arsonval nous a montré ses grands appareils et ses ingénieux dispositifs pour les expériences de calorimétrie sur les êtres vivants.

M. Nodon nous a montré un nouvel hygromètre et M. Hillairet nous a fait part du curieux phénomène d'Hydrodynamique qu'il a observé à bord du grand paquebot *la Champagne*.

Mais c'est, comme toujours, sur les questions d'électricité qu'ont eu lieu les Communications les plus nombreuses.

MM. Trouvé, Ducretet, Barbier, Reynier, Scola et Ruggieri

nous ont montré de nouveaux appareils ou de nouvelles applications d'appareils connus.

M. Lippmann nous a présenté son électromètre absolu, de disposition si ingénieuse, et M. Pellat son ampèremètre absolu si intéressant.

M. d'Arsonval nous a exposé les perfectionnements qu'il a apportés aux galvanomètres et aux procédés optiques employés pour la lecture de ces appareils. Il nous a indiqué aussi l'usage que l'on peut faire des accumulateurs pour remplacer la pile et créer une différence de potentiel constante dans la méthode de Poggendorff.

H. Hempel a répété devant nous les expériences de Lodge sur la condensation des vapeurs sous l'influence de l'électricité statique.

M. Leduc nous a exposé ses recherches sur la mesure de l'intensité magnétique et sur les variations du champ produit par un électro-aimant.

M. Ledeboer nous a entretenus de la détermination du coefficient de self-induction, M. Vaschy de la vitesse de l'électricité, M. Bouty de la conductibilité électrique des dissolutions salines, enfin M. Fontaine nous a décrit les expériences qu'il a exécutées pour le transport de la force au moyen de machines dynamo-électriques couplées en séries.

Le résumé de ces Communications dans les comptes rendus de nos séances maintiendra au moins à son niveau habituel l'intérêt de cette publication si appréciée et du *Journal de Physique* qui la complète.

Notre séance annuelle de Pâques a été particulièrement brillante. Les nouvelles salles de la Société d'Encouragement, mises, pour la première fois, à notre disposition, avaient permis de grouper, d'une façon plus avantageuse, les nombreux appareils exposés et de donner plus de développement aux installations d'éclairage électrique.

Il serait trop long de rappeler tous les intéressants instruments qui ont été offerts à l'examen de nos nombreux visiteurs; mais il ne m'est pas permis d'omettre de signaler parmi ces appareils ceux de M. Amagat pour la mesure de la compressibilité des gaz et ceux

de M. le commandant Renard se rapportant à l'aérostat de Meudon, sans compter ceux de MM. Janssen, Mercadier, Kœnig, Nodot, Neyreneuf et tant d'autres.

Je dois aussi signaler le concours précieux de MM. Weyher et Richemond qui, comme les années précédentes, ont mis gratuitement à la disposition de la Société la force motrice nécessaire pour l'éclairage électrique; ainsi que celui de M. Lodyguine qui nous a donné la primeur de ses lampes à incandescence, celui de ses associés MM. Cauderon et Bertin qui en ont dirigé les installations, ainsi que ceux de M. Chertemps et de la Société Edison qui nous ont prêté leurs machines dynamo-électriques.

L'affluence nombreuse des visiteurs qui se sont succédé aux deux séances du soir, l'empressement de nos confrères à profiter de la faculté qui leur a été laissée d'étudier à loisir les appareils pendant la journée qui a séparé ces deux séances, nous ont prouvé, une fois de plus, combien ces réunions ainsi organisées présentent de l'attrait pour tous ceux qui s'intéressent au progrès des Sciences physiques et surtout combien elles rendent de service aux savants et professeurs de province auxquels elles fournissent l'occasion d'examiner facilement des appareils qu'il leur faudrait chercher dans des Laboratoires ou des ateliers nombreux.

Il est malheureusement à craindre que le succès de nos séances futures du même genre ne soit compromis, s'il est donné suite au projet qui transférerait à une époque de l'année moins propice la réunion annuelle, à Paris, des membres des Sociétés savantes.

Mais nous pouvons espérer encore que l'avis motivé, que notre Société a été appelée à émettre sur cette question, aura quelque poids dans la balance et pourra éviter une mesure qui aurait certainement des conséquences fâcheuses pour les intérêts du plus grand nombre de nos confrères.

Pour éviter ce danger, nous pourrons compter, j'en suis sûr, sur l'appui de l'homme éminent qui vient d'être placé à la tête de l'Université et que notre Société est fière de compter parmi ses anciens présidents et ses plus dévoués fondateurs.

Le léger point noir que je vous laisse entrevoir ne peut nous inquiéter sur la prospérité de notre Société dont la vitalité va sans cesse en s'affirmant.

La publication, aujourd'hui très prochaine, des deux nouveaux

volumes de nos Mémoires que terminent MM. Joubert et Wolf sera pour nous un nouvel élément de succès.

Un don magnifique qui vient récemment de nous être annoncé pourra, si aucun obstacle n'en empêche la réalisation, nous permettre de donner une suite nouvelle à ces publications.

C'est donc sans inquiétude pour l'avenir que je remets à M. Wolf la présidence que m'avaient confiée vos trop bienveillants suffrages; mais, avant de l'inviter à prendre ma place, je tiens à vous remercier encore une fois d'avoir associé mon nom à ceux des savants éminents qui m'ont précédé dans ce fauteuil. C'est avec fierté et reconnaissance que je garderai le souvenir de l'honneur que vous m'avez fait.

SÉANCE DU 21 JANVIER 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 7 janvier est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Lelorieux, professeur au Lycée Lakanal ;
Petroff, professeur à l'Institut technologique de Saint-Pétersbourg ;

Une Commission composée de MM. Cael, Dufet et Violle est nommée pour vérifier les comptes de l'année 1886.

M. Berthelot, nommé Membre honoraire; M. de Romilly, élu Vice-Président; MM. Girardet, Foussereau, Lemonnier, Colnet d'Huart, Hagenbach, Rayet, nommés Membres du Conseil, adressent leurs remerciements à la Societé.

M. le Président fait part à la Société de la perte qu'elle vient de faire dans la personne de M. Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École de Télégraphie :

« La Société de Physique a éprouvé, depuis notre dernière séance, une perte très douloureuse : un de nos collègues les plus sympathiques, un de nos anciens Présidents, M. Blavier, a succombé samedi dernier aux suites d'une opération chirurgicale peut-être trop tardive. Ses obsèques ont eu lieu lundi, et au moment de la dernière séparation, à la gare de l'Est, plusieurs discours ont été prononcés devant son cercueil. M. Boussac, au

nom de l'Administration des Télégraphes, a rappelé la carrière si bien remplie de l'éminent Inspecteur général ; M. Mascart a retracé l'ensemble de ses travaux scientifiques, et j'ai eu le douloureux honneur d'adresser, en quelques mots, votre dernier adieu à notre regretté Président.

» M. Blavier faisait partie de notre Société depuis sa fondation ; et il était parmi nous le chef respecté de cette nombreuse pléiade d'Ingénieurs qui ont nourri nos séances de la lecture de leurs travaux et qui se consacrent avec un zèle soutenu à la prospérité de notre Association. Les grandes qualités d'homme et de savant que M. Blavier cachait sous une réserve trop modeste lui ont valu, dès le premier jour, toutes nos sympathies et vous l'avez appelé en 1878 à la Présidence de la Société. Je ne vous rappellerai pas tous ses travaux, la liste en est longue ; mais il en est trois en particulier que je dois vous signaler et qui suffiraient à eux seuls à justifier la grande autorité dont M. Blavier jouissait parmi les savants. C'est d'abord son *Traité de Télégraphie*, dont la deuxième édition a paru en 1867 : la méthode et la clarté sont les qualités distinctives de cet Ouvrage, qui est et restera l'introduction la plus complète à la pratique de la Télégraphie. C'est ensuite son *Traité des grandeurs électriques*, exposé magistral des principes dont l'introduction dans l'Électricité a révolutionné cette Science en lui donnant la précision de la Mécanique. Enfin ce sont ses recherches récentes et si originales sur les courants telluriques, si fécondes en même temps par les vues nouvelles qu'elles nous ouvrent sur le mode de production de l'électricité du sol. Vous voudrez, je pense, que la liste complète des travaux de M. Blavier soit insérée dans les *Comptes rendus* de nos séances ; ce sera pour nous la meilleure manière d'honorer et de conserver sa mémoire. »

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. Delaurier *Sur l'éclairage électrique des bords des fleuves et des rivières.*

M. Trouvé s'occupe activement, depuis plusieurs années, de l'application de l'électricité à la propulsion des petites embarcations de plaisance. Le générateur employé et présenté à la Société se compose de piles à grande surface, alimentées avec du bichromate de potasse. La dissolution contient 125^{gr} par litre et est acidulée au quart.

Au moment de l'immersion, la force électromotrice atteint $2^{volts},1$; en service, elle ne descend guère au-dessous de $1^{volt},9$; la résistance intérieure est réduite à $0^{\omega},001$ au début et atteint ensuite $0^{\omega},07$ à $0^{\omega},08$ seulement. En court circuit, l'intensité peut dépasser une centaine d'ampères ; mais, en service courant, on ne dépasse pas une vingtaine d'ampères, et le fonctionnement est très satisfaisant.

M. Trouvé installe le moteur et le propulseur sur le gouvernail. Le moteur est composé essentiellement d'une bobine de Gramme ou de Siemens, tournant à l'intérieur d'un inducteur en forme d'anneau. Deux secteurs symétriques, embrassant la moitié de la circonférence, sont occupés par les pôles magnétiques; les deux autres, par les bobines.

Ce petit moteur, qui ne s'échauffe nullement lorsqu'il fonctionne à l'air libre, ne pèse que 15^{kg} par cheval. M. Trouvé pense que cet appareil est destiné à rendre de grands services dans les laboratoires et cabinets de Physique : il jouit de la propriété de s'amorcer sur une seule lampe à incandescence, résultat qui n'a pas encore été obtenu avec les autres machines du même genre.

Cette petite machine est susceptible de faire rougir un fil de platine, comme le prouve l'expérience réalisée devant la Société, et donne, au moment de la rupture du circuit, de vives étincelles dont la production correspond, d'après les évaluations de M. Trouvé, à 7^{kgm}.

Le propulseur hélicoïdal est doué d'une très grande vitesse qui varie entre 1500 et 2400 révolutions par minute. Le pas n'est que de $0^{m},10$ et, dans ces conditions, le remous est insensible. Le rendement de ce propulseur est très élevé.

La construction de ces petites hélices est réalisée à l'aide de dispositifs originaux et entièrement nouveaux.

M. Trouvé, partant du principe même de la génération de la surface hélicoïdale, construit tout d'abord un noyau cylindrique sur lequel il pratique, à l'aide d'un tour à diviser, une gorge ou fraisure hélicoïdale.

Il introduit ensuite, normalement à l'axe, de petites tiges de laiton dans les cavités ainsi ménagées et réalise matériellement une série de génératrices de la surface gauche. Les extrémités sont ensuite soudées et les vides comblés par un métal facilement fusible. Il ne reste plus qu'à régulariser la surface à la lime.

Le commutateur a la forme d'un levier à manette dont le maniement rappelle celui du levier de mise en train des machines à vapeur. M. Gaulard emploie avec succès, dans son usine électrique de Tours, ce modèle de commutateur qui jouit de la faculté précieuse de produire une grande vitesse relative au moment de la rupture du circuit. Les étincelles d'extracourant sont alors très affaiblies.

Il ne reste plus, pour compléter l'installation du petit navire de plaisance, qu'à créer un signal électrique jouant le rôle de sifflet à vapeur. Aux petites vitesses, la voix des canotiers et le bruit des rames suffisent pour prévenir les rencontres; mais, aux grandes vitesses, il devient dangereux de se passer d'un signal puissant.

Le système imaginé par M. Trouvé se compose d'un porte-voix, d'une petite sirène et d'un petit moteur électrique faisant en même temps l'office de ventilateur.

Le système du moteur est identique à celui des jouets électriques et adopté depuis longtemps par M. Trouvé.

Les résultats obtenus par M. Trouvé permettent de prévoir, dans un avenir prochain, l'adoption sur une grande échelle de la navigation électrique pour les navires de toutes dimensions. M. Trouvé donne à ce sujet des chiffres concluants : en effet, tout le monde sait que la vapeur ne

permet pas de parcourir une distance franchissable de plus de 5000^{km} ; l'électricité conduit facilement à une distance double.

Le moteur et la pile ne pèsent pas plus de 200^{kg} par cheval, et la consommation de zinc et de liquide ne dépasse pas 2^{kg} par heure et par cheval. D'autre part, il résulte des expériences de M. Trouvé que le navire mû par l'électricité ne fait plus que glisser sur l'eau : la résistance qu'il éprouve à se déplacer est minime.

M. D'ARSONVAL, à propos de la description de l'anneau de fer de la bobine induite du moteur de M. Trouvé, dit qu'il résulte de ses propres expériences que le fil de fer employé par M. Gramme vaut mieux que les disques de ce métal, au moins pour les machines de dimensions notables.

M. TROUVÉ pense que dans les petites dimensions il doit y avoir équivalence, les disques employés n'ayant plus qu'une épaisseur de 0^{mm},1.

M. le PRÉSIDENT prie M. Trouvé de donner de plus amples détails sur l'installation de l'hélice à l'intérieur du gouvernail.

M. TROUVÉ indique les avantages de cette disposition, qui permet d'accroître le pouvoir giratoire du gouvernail ; il fait en outre fonctionner l'appareil ; la rotation de l'hélice, dans les deux sens, est obtenue avec une égale facilité.

M. D'ARSONVAL décrit un appareil destiné à inscrire la quantité d'oxygène absorbé par un être vivant.

Cet appareil très simple se compose de trois parties :

1° Une trompe à eau ordinaire aspirante et foulante ;
2° Une cloche sous laquelle se trouve emprisonné l'animal ;
3° Un gazomètre à cloche contenant de l'oxygène pur.

La trompe à eau ne diffère pas du modèle ordinaire et peut être faite avec un tube et un flacon en verre de 10^{lit} de capacité environ. Cette trompe présente, comme d'habitude, un premier ajutage d'aspiration et un second de refoulement. La partie supérieure de la cloche est reliée à la tubulure aspirante de la trompe, sa partie inférieure à la tubulure de refoulement, par des tuyaux en caoutchouc. On a soin de bien luter l'appareil pour l'isoler de l'air extérieur.

Si l'on vient à faire fonctionner la trompe en ouvrant le robinet d'eau, il est aisé de comprendre que l'air de la cloche est aussitôt aspiré par le jet d'eau ; cet air se mélange intimement à l'eau et s'en sépare dans le réservoir de la trompe.

L'eau seule est éliminée, et l'air refoulé, après avoir été lavé par le courant d'eau, se rend de nouveau dans la cloche. Il s'établit donc un courant d'air continu entre la trompe et la cloche. Le volume de l'air reste

invariable s'il n'y a pas d'animal dans la cloche, ainsi que me l'ont prouvé plusieurs expériences faites à blanc.

Ce résultat est facile à comprendre ; car l'eau d'alimentation, étant saturée d'air atmosphérique avant son entrée dans la trompe, ne peut ni en dégager ni en dissoudre.

La cloche est reliée au gazomètre par un petit tube en verre horizontal présentant une légère courbure dont la concavité est tournée vers le haut. Une simple goutte d'eau introduite dans cette courbure isole l'air de la cloche de l'oxygène contenu dans le gazomètre.

Si, par la présence d'un animal, l'air de la cloche vient à être souillé d'acide carbonique, ce gaz se dissout dans le courant d'eau de la trompe d'une façon complète, grâce au barbotage énergique qui a lieu dans cet appareil. L'acide carbonique dissous dans l'eau est entraîné seul au dehors. Par suite de sa disparition, le volume du gaz contenu dans la cloche diminue, mais il est aussitôt remplacé par un volume égal d'oxygène venant du gazomètre, oxygène qui pénètre grâce à la légère diminution de pression qui se produit dans la cloche.

Le gazomètre porte une plume Richard qui se meut le long d'un cylindre enregistreur. L'absorption d'oxygène s'inscrit donc d'une manière continue sur le cylindre enregistreur.

La trompe a l'avantage : 1° d'absorber rapidement et complètement l'acide carbonique ; 2° de refroidir les gaz toujours à la même température ; 3° de dissoudre complètement les gaz odorants provenant de la respiration ; 4° enfin d'entretenir un courant d'air régulier et continu autour de l'animal sans nécessiter aucun appareil mécanique, comme cela a lieu dans l'appareil classique de Regnault et Reiset ou dans les similaires.

Ce dispositif, imaginé par M. d'Arsonval pour les leçons qu'il fait actuellement au Collège de France sur la respiration, donne d'excellents résultats qu'il fera connaître très prochainement.

Liste des Ouvrages et Mémoires publiés par M. Blavier.

1865. *Propagation de l'électricité. Note sur la réponse de M. Guillemin aux observations de M. Gounelle.* Nancy, Vve Raybris.

1867. *Nouveau Traité de Télégraphie électrique. Cours théorique et pratique de Télégraphie électrique ;* 2e édition. Paris, Eug. Lacroix.

1881. *Des grandeurs électriques et de leur mesure en unités absolues.* (Extrait des *Annales télégraphiques.*) Dunod.

1881. *L'Électricité et ses applications.* (En collaboration avec MM. Armengaud, Becquerel, etc.)

1882. *Capacité électrostatique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres parallèles à bases circulaires.* (Extrait des *Annales.*) Dunod.

1884. *Étude des courants telluriques.* Gauthier-Villars.

ANNALES TÉLÉGRAPHIQUES.

Deuxième Série.

M. Blavier et M. Gounelle ont créé, en 1858, la deuxième Série des *Annales télégraphiques* dont la première Série, instituée en 1885, n'avait eu qu'une durée de quelques mois.

M. Blavier a publié dans cette deuxième Série les articles suivants :

1858. *Dérivations des courants le long des lignes télégraphiques.*
1859. *Sur la propagation de l'électricité.*
1859. *Des aurores boréales.*
1860. *Théorie de la propagation de l'électricité.*
1860. *Sur la boussole des tangentes de Gaugain.*
1861. *Notice sur les appareils télégraphiques imprimeurs.*
1861. *Transmission de plusieurs dépêches par un même fil.*
1862. *Des courants terrestres.*
1864. *Application de la théorie générale de la propagation de l'électricité à l'étude des conducteurs télégraphiques.*

Cette deuxième Série des *Annales* a été interrompue en 1865.

Troisième Série.

En 1874, M. Blavier s'est de nouveau occupé de reconstituer les *Annales télégraphiques* et a été nommé Président du Comité de rédaction. Il a publié dans cette troisième Série :

De 1874 à 1881. *Des grandeurs électriques et de leur mesure en unités absolues.*
1882. *Capacité électrostatique et résistance de l'espace compris entre deux cylindres parallèles à bases circulaires.*
1884. *Essai périodique des lignes télégraphiques.*
1885. *Influence des orages sur les lignes souterraines.*

M. Blavier a publié, en outre, dans les *Annales*, un grand nombre de Notices nécrologiques et d'articles bibliographiques.

Moteur électrique puissant et léger. Nouveau mode de construction de l'hélice. Nouveau commutateur à changement de marche et signal employé dans les embarcations électriques; par M. Trouvé.

Je m'occupe activement de la navigation électrique depuis mes premières expériences sur la Seine, qui remontent déjà à l'année 1881. Rien de sérieux n'avait été tenté dans cette voie depuis l'expérience mémorable de Jacobi sur la Neva.

Tout était alors à créer : depuis le générateur jusqu'au signal d'alarme. Le moteur et le propulseur devaient eux-mêmes être modifiés.

Après avoir essayé comparativement les générateurs primaires et secondaires, j'ai donné la préférence aux premiers. Ces générateurs sont en effet plus légers que les accumulateurs, toutes choses égales d'ailleurs; ils permettent en outre d'accomplir des trajets de plus longue durée, en emportant avec soi des sels nécessaires à les alimenter, l'eau ne pouvant faire défaut puisqu'il s'agit de navigation fluviale. Les accumulateurs, au contraire, ne permettent pas actuellement de s'éloigner longtemps de leur point de ravitaillement, et le temps est peut-être encore éloigné où l'on trouvera facilement, sur les bords des rivières ou dans les ports du littoral, des établissements outillés pour fournir l'approvisionnement nécessaire aux accumulateurs.

Le générateur dont je me sers est celui qui a été présenté à la Société le 20 avril 1883 : c'est une série de batteries à treuil et à grand débit; le nombre de ces batteries est plus ou moins grand suivant la force que l'on veut développer. Chacune de ces batteries se compose d'une auge en bois de chêne, munie de cuves en ébonite et surmontée d'un treuil avec rochet et encliquetage, de 6 éléments zincs et charbons réunis en tension au moyen de contacts mobiles, et du liquide excitateur, acide sulfurique et bichromate de potasse, dans des proportions déterminées.

La force électromotrice de chacun de ces éléments est de 2 volts en moyenne (le liquide n'ayant pas encore servi); l'intensité, au moment de l'immersion est, pour la batterie de 6 éléments, de 118 ampères en court circuit.

Les constantes sont $E = 1^{volt},9$, $r = 0^{ohm},07$, à $0^{ohm},08$.

Le moteur constitue une modification spéciale et longuement étudiée de la machine Gramme; il possède un champ magnétique d'une grande puissance relative, sous un très petit volume et un très faible poids. L'induit du moteur, ou bobine centrale, est formé par un noyau de fer doux, composé d'un ruban très mince en tôle de fer de $\frac{2}{10}$ de millimètre d'épaisseur, dont les spires sont séparées par du papier. Les deux électro-aimants, constituant les inducteurs, entourent concentriquement l'induit.

Afin de donner au champ magnétique son maximum d'intensité, j'ai réduit à la limite extrême l'espace compris entre l'inducteur et l'induit. Dans ces conditions, la puissance développée est vraiment remarquable, car le $\frac{1}{2}$ cheval est donné par un moteur de 8^{kg}, et le cheval-vapeur par un moteur de 15^{kg}; cette proportion s'accroît encore avec l'augmentation de puissance du moteur : c'est ainsi qu'un moteur de 10 chevaux ne pèse que 100^{kg}.

D'après une série d'expériences entreprises par M. le Dr d'Arsonval avec des moteurs de $\frac{1}{2}$ cheval, pesant 8^{kg}, et de 1 cheval, pesant 18^{kg}, le rendement obtenu a été de 50 à 65 pour 100, pour un nombre d'éléments variant de 24 à 48 et à une vitesse moyenne de 2400 tours par minute, ainsi qu'il résulte de l'examen du Tableau ci-dessous :

NUMÉRO des expériences.	MOTEUR essayé.	NOMBRE des éléments	DÉVELOPPEMENT du levier au frein.	POIDS NET équilibrant l'entraînement.	NOMBRE de tours en une minute.	NOMBRE de kilogrammètres en une seconde.	NOMBRE d'ampères.	NOMBRE de volts ou différence du potentiel aux bornes du moteur.
	ch		m	kg				
1.....	$\frac{1}{2}$	24	2	0,200	2900	19,33	14	35
»	»	30	2	0,300	2400	25,00	18	34
»	»	36	2	0,300	2700	27,00	19	43
2.....	»	24	2	0,200	2800	18,70	17	32
3.....	»	24	2	0,200	2760	18,40	11	38
»	»	36	2	0,400	2300	30,70	16	46
»	»	40	2	0,500	2400	38,80	17	50
4.....	1	36	2	0,700	2100	49,00	14	55
»	»	42	2	0,809	2440	65,00	17	60
»	»	48	2	0,900	2320	77,80	19	66

On se trouve dans des conditions très différentes de celles que présentent les moteurs à vapeur, lesquels ne peuvent dépasser pratiquement une vitesse assez faible.

Cependant, au lieu de réduire par le mode de transmission la vitesse du moteur, il est plus avantageux de conserver à l'hélice une très grande vitesse de rotation. On sait, en effet, avec quelle rapidité augmente la résistance de l'eau à mesure que s'accroît la vitesse du corps qui s'y meut; on doit donc chercher à se rapprocher des conditions qu'offre une vis prenant son point d'appui sur un écrou solide, obtenir une diminution du recul de l'hélice et réduire la perte de force vive résultant du tourbillonnement de la masse d'eau mise en mouvement.

Cette grande vitesse oblige à réduire considérablement le pas de l'hélice, condition également favorable, car la résultante des forces dues à l'inertie de l'eau agissant sur chaque élément de la surface des ailes se rapproche de la direction de l'axe, direction dans laquelle doit s'exercer l'effet utile. Il en résulte aussi pour l'eau une moindre tendance à prendre un mouvement de rotation qui fait naître un effort centrifuge, la forçant à s'échapper par le pourtour de l'hélice, ce qui, comme on le sait, est une cause de trépidations et de perte de force vive.

Les expériences qui ont confirmé cette manière de voir ayant nécessité l'essai d'un très grand nombre d'hélices de forme et de pas variables, j'ai été conduit à imaginer un mode de construction beaucoup plus simple que ceux qui sont en usage et qui n'exige pas, comme ceux-ci, des connaissances géométriques assez étendues et une très grande habileté de main. Ce nouveau mode, au contraire, permet à tout ouvrier de confectionner un modèle d'hélice. Dans un cylindre d'un diamètre égal au moyeu de l'hélice (*fig.* 1), je pratique une rainure hélicoïdale, opération que le tour à engrenages réalise mécaniquement avec une régularité parfaite. Je prends ensuite une série de tiges métalliques d'un diamètre égal à la largeur de la rainure, et j'implante l'extrémité de ces tiges dans la rainure, perpendiculairement à l'axe du cylindre, en les pressant fortement l'une contre l'autre, de façon à assurer le contact. On réalise ainsi matériellement, avec la plus grande facilité, la formation d'un hélicoïde de pas déterminé. Il ne reste plus qu'à réunir les extrémités des tiges au moyen d'une feuille de métal mince, à laquelle on les soude pour fixer leur position, à souder

également entre elles les extrémités encastrées, puis à remplir l'intervalle des tiges au moyen d'un métal facilement fusible. J'obtiens ainsi deux surfaces auxquelles viennent affleurer les tiges, surfaces qui se confondent sensiblement avec l'hélicoïde géométrique ayant rigoureusement le pas qu'on s'est donné.

Fig. 1.

Je puis, du reste, réaliser parfaitement la surface hélicoïdale géométrique en faisant coïncider l'un des angles de l'outil avec la trace de cette surface sur le cylindre.

On découpe à volonté, si on le désire, des ailes courbes sur la surface ainsi formée, et l'on renforce la face qui n'est pas destinée à agir au moyen d'une matière plastique. On obtient ainsi sans difficulté et à peu de frais un moule au moyen duquel on peut fondre des hélices parfaitement régulières et de pas bien déterminé.

Comme ce moule est en matière indéformable, dépourvu de son noyau, il restera comme étalon pour vérifier soit les produits de la fonte, soit les hélices qui, ayant déjà travaillé, auraient été faussées.

L'hélice à pas variable, si compliquée et si difficile à réaliser, s'exécute avec la même facilité.

C'est à l'aide de ces trois organes essentiels que l'on obtient des vitesses dépassant 15^{km} à l'heure, avec des embarcations de plaisance.

Pour commander ce système de propulsion, j'ai construit tout spécialement un commutateur très simple qui assure la mise en marche, l'arrêt ou le renversement de marche du bateau, avec la plus grande promptitude.

Ce commutateur est composé de six équerres métalliques, disposées deux à deux sur un socle de matière isolante; les deux du milieu supportent le levier de manœuvre, les quatre autres sont reliées aux bornes du moteur et au générateur.

Il suffit d'abaisser le levier entre les équerres pour déterminer la marche en avant, comme de le placer au contact des équerres postérieures pour obtenir la marche en arrière. Le maniement de la manette rappelle celui du levier de mise en train des machines à vapeur. Ce commutateur est employé avec succès dans l'usine centrale d'électricité de Tours, pour les courants de hauts potentiels.

Pour les rivières peu profondes et encombrées d'herbes pendant une bonne partie de la belle saison, j'ai adapté à mes bateaux, concurremment avec l'hélice, un nouveau propulseur à augets coniques de M. Dupassieux, sur lequel il fonde beaucoup d'espérances et dont il s'est fait le propagateur.

Enfin, il était nécessaire de compléter cet ensemble par un signal avertisseur du passage des embarcations électriques, afin d'obvier à des accidents toujours trop fréquents. C'est dans ce but que j'ai imaginé une sirène électrique analogue à l'appareil en usage dans les cabinets de Physique. Elle se compose essentiellement d'un électromoteur de ventilation à quatre ailes perpendiculaires, entraînant, dans son mouvement de rotation, un disque mobile percé de trous suivant une inclinaison de 20° à 30° et monté sur le même axe que lui; le disque fixe, dont les ouver-

tures sont pratiquées en sens opposé, est placé vers le fond du pavillon de la sirène, à laquelle le courant est amené par deux conducteurs souples. L'appareil est monté sur un pied à coulisse articulé et peut prendre toutes les orientations. Le son produit par la sirène électrique débute par une vibration rauque et qui, passant rapidement par toutes les notes de la gamme, atteint et se maintient à une note aiguë, stridente et très forte, qu'il est impossible de confondre avec aucun des signaux en usage.

Les résultats que j'ai obtenus me permettent de prévoir, dans un avenir prochain, l'adoption sur une grande échelle de la navigation électrique pour les navires de toutes dimensions. Le moteur et la pile ne pèsent pas plus de 200^{kg} par cheval, et la consommation de zinc et du liquide ne dépasse pas 2^{kg} par heure et par cheval.

Je ne me suis pas contenté de faire servir l'électricité à la propulsion des bateaux, mais encore à les éclairer dans leurs promenades nocturnes. A l'avant de l'embarcation se trouve disposé un réflecteur puissant et mobile alimenté directement par les batteries qui servent à la propulsion des bateaux électriques, ou bien j'emploie, pour les embarcations ordinaires, une petite batterie automatique indépendante qui, sous un très petit volume, donne la durée de l'éclairage que l'on désire : trois, quatre ou six heures de lumière, à volonté.

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1887.

PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 21 janvier est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Bresson (Léon), ancien Officier de marine, à Paris.
Cavé, au château de Notz-Marafin, par Mézières-en-Brenne (Indre).
de Colnet d'Huart (François), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée de Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).
Leroy, Professeur de Physique au lycée de Vanves.
Madamet, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, à Paris.
Pavlidès (Démosthènes), Étudiant en Médecine, à Paris.

M. Henri Dufet, Rapporteur, donne lecture du Rapport de la Commission des comptes sur l'exercice de 1886.

Les conclusions du Rapport sont mises aux voix et adoptées.

M. le Secrétaire général signale le don que M. Broch vient de faire à la Bibliothèque de la Société d'une collection complète des tirages à part des Mémoires publiés, tant par lui-même que par ses collaborateurs, dans la *Collection des Travaux et Mémoires du Bureau international des Poids et Mesures.*

A cette occasion, M. le Secrétaire général annonce que, la Société d'Encouragement ayant bien voulu mettre à la disposition de la Société de Physique, pour sa Bibliothèque, les armoires qui entourent la salle des séances, on va pouvoir donner à la Bibliothèque un développement que le défaut d'espace ne lui avait pas permis de prendre jusqu'ici. La Bibliothèque de la Société rend surtout des services aux Membres de province, en mettant à leur disposition tous les ouvrages qu'elle possède et qui leur sont envoyés par la poste sur leur demande. On s'occupe en ce moment d'en dresser le Catalogue, qui sera imprimé et envoyé à tous les Membres. Le Bureau fait appel à tous les Membres de la Société pour contribuer à l'accroissement de la Bibliothèque par l'envoi des Mémoires ou tirages à part dont ils peuvent disposer.

M. le Secrétaire général annonce également que le troisième volume de la Collection des Mémoires (2e partie de l'*Électrodynamique*) est terminé et pourra être distribué dès la prochaine séance. Il ajoute que l'impression du volume suivant est commencée. Ce volume, qui est publié par M. Wolf, sera consacré aux principaux Mémoires relatifs au pendule (Borda, Kater, Bessel, etc.).

M. Henri Becquerel expose quelques-uns des principaux résultats auxquels l'ont conduit les recherches qu'il poursuit sur l'absorption de la lumière dans les cristaux :

1° Le spectre d'absorption observé au travers d'un cristal varie avec la direction de la vibration lumineuse rectiligne qui se propage dans ce cristal.

2° Les bandes ou raies observées au travers d'un même cristal ont des positions fixes; leur intensité seule varie.

3° Pour une bande ou raie déterminée, il y a dans le cristal trois directions rectangulaires de symétrie (*directions principales d'absorption*), suivant l'une desquelles la bande en question disparaît généralement.

4° Dans les cristaux *orthorhombiques,* les directions principales d'absorption de toutes les bandes coïncident avec les trois axes de symétrie. On observe alors trois *spectres principaux d'absorption.* Dans les cristaux *uniaxes* le nombre des spectres d'absorption se réduit à deux.

5° Dans les cristaux *clinorhombiques,* l'une des directions principales d'absorption de chacune des bandes coïncide avec l'axe unique de symétrie. Les deux autres directions principales rectangulaires peuvent être diversement orientées dans le plan de symétrie. Le plus généralement, ces directions principales d'absorption sont très voisines des directions principales d'élasticité optique correspondantes; cependant, dans quelques cristaux, les directions principales d'absorption de certaines bandes sont très différentes des directions d'élasticité optique du cristal.

6° Dans divers cristaux, les caractères des phénomènes d'absorption diffèrent notablement de ceux qu'on s'attendrait à rencontrer d'après l'examen des courbes isochromatiques du cristal.

En recherchant les causes des anomalies signalées dans les deux derniers paragraphes, l'auteur a été conduit à admettre qu'elles étaient dues au mélange de matières différentes, isomorphes, mais n'ayant pas les mêmes directions principales d'absorption par rapport aux directions géométriques de cristallisation; chacune de ces matières se comporterait comme si elle était seule dans le cristal.

L'observation des directions principales d'absorption de diverses bandes permet de reconnaître si ces bandes appartiennent à une même substance ou à deux substances différentes, et constitue une méthode nouvelle d'analyse spectrale, au moyen de laquelle on peut reconnaître la présence de substances différentes, que les méthodes chimiques ne peuvent encore séparer.

Appliquée aux cristaux des composés du didyme, cette méthode a conduit à regarder le didyme comme un mélange d'un grand nombre de substances différentes, au moins six, parmi lesquelles on retrouve les trois groupes qui ont été séparés par l'analyse chimique.

L'auteur répète devant la Société de Physique diverses expériences et montre en particulier les spectres d'absorption de la scheelite, du xénotime, et les directions anomales de disparition de certaines bandes des spectres du sulfate de didyme.

Les cristaux employés dans ces expériences, et dont la taille était parfois très difficile, ont été taillés par M. Werlein. M. Becquerel termine en remerciant M. Pellin du concours qu'il a bien voulu lui prêter pour mettre sous les yeux de la Société les principaux phénomènes qu'il vient de décrire.

M. Vaschy rappelle que, suivant les idées de Faraday, les actions des corps électrisés se transmettent de proche en proche par l'intermédiaire du milieu interposé. Il en résulte des actions qui s'exercent en chaque point du milieu et qui sont, comme l'a montré Maxwell, des tensions suivant les lignes de force et des pressions latérales, dont la valeur commune est $p = \frac{\mu f^2}{8\pi}$, f désignant la force électrique, μ le pouvoir inducteur spécifique.

Le milieu sur lequel s'exercent ces actions doit être composé de l'éther et de la matière pondérable; car l'éther à lui seul, c'est-à-dire le vide, est susceptible de transmettre les actions électriques, et, d'autre part, la matière pondérable subit des déformations dans un champ électrique. On est conduit à supposer que l'éther subit une fraction $\frac{f^2}{8\pi} = \frac{p}{\mu}$ de ces actions, la matière pondérable subissant la fraction complémentaire

$$\frac{\mu - 1}{8\pi} f^2 = \left(1 - \frac{1}{\mu}\right) p = \alpha p.$$

Dans cette hypothèse, la matière pondérable doit, si elle est libre, se contracter suivant les lignes de force et se dilater suivant les directions équipotentielles; d'où une dilatation cubique résultante égale à $\frac{\alpha p}{3\varepsilon}$, ε étant le coefficient de compressibilité.

Les lois de la dilatation électrique, données par M. Duter en 1879, paraissent confirmer entièrement ces vues. Si l'on admet pour la compressibilité du verre des bouteilles de Leyde employées par lui le chiffre $23,5 \times 10^{-7}$, que l'on trouve dans des Traités de Physique, et pour le pouvoir inducteur spécifique la valeur 5,26, qui ne paraît nullement exagérée (*voir* le Traité de Gordon), la formule précédente est vérifiée numériquement. Il est vrai que les chiffres 11×10^{-7} et 1,76 indiqués par M. Duter donneraient un résultat numérique beaucoup plus faible; mais ils ne paraissent pas avoir été déterminés expérimentalement.

M. Moutier (1878) a déduit de considérations entièrement différentes une formule représentant la dilatation électrique et ne différant de la précédente qu'en ce que le coefficient $\alpha = 1 - \frac{1}{\mu}$ est remplacé par 1. Les deux formules $\frac{p}{3\varepsilon}$ et $\frac{\alpha p}{3\varepsilon}$ diffèrent considérablement lorsque μ est voisin de 1. Celle de M. Moutier conduirait à une valeur très notable de la dilatation électrique dans les gaz, surtout raréfiés; un tel phénomène n'a pas été observé.

Le phénomène électro-optique de M. Kerr paraît venir encore à l'appui de l'hypothèse émise plus haut. M. Kerr a d'ailleurs fait lui-même remarquer que l'intensité du phénomène est proportionnelle aux tensions et pressions p calculées par Maxwell. On peut ajouter que l'effet observé est bien dû à une action *mécanique* sur la matière pondérable, puisqu'il est nul dans le vide. Cette action est *moléculaire,* puisqu'elle rend anisotropes les liquides eux-mêmes : sulfure de carbone, etc.

Les mêmes considérations s'appliqueraient au magnétisme et à la dilatation magnétique. Seulement, pour les corps diamagnétiques, le pouvoir inducteur (ou perméabilité) μ étant plus petit que l'unité, le coefficient α est négatif, et il y a contraction au lieu de dilatation. Les actions mécaniques en question sont d'ailleurs extrêmement faibles en général. Le

pouvoir inducteur ne différant pas de l'unité de plus de 0,0006 pour la plupart des corps magnétiques ou diamagnétiques, la valeur de αp, même dans un champ très intense ($f = 20000$ C.G.S.), ne dépassera guère $\frac{1}{100}$ d'atmosphère. Pour les corps fortement magnétiques, par contre, la force coercitive et le magnétisme rémanent rendent la théorie inapplicable.

RAPPORT DE LA COMMISSION DES COMPTES

SUR L'EXERCICE 1886.

La Commission, après s'être fait présenter les pièces de comptabilité et avoir vérifié l'état de la caisse, a pu, d'après les renseignements et les documents fournis par le Trésorier, établir ainsi qu'il suit la situation financière de la Société :

Recettes.

	fr
En caisse à l'ouverture de l'exercice (1er janvier 1886).....	490,10
Produit des cotisations.....	7813,00
Droits d'entrée.....	200,00
Versements entiers ou partiels de souscriptions perpétuelles...	1560,00
Intérêts du capital placé.....	1034,70
Produit de la vente des publications de la Société.....	707,45
Dons.....	90,00
TOTAL DES RECETTES.....	11895,25

Dépenses.

	fr
Loyer du siège social.....	600,00
Traitement de l'agent de la Société.....	1600,00
Abonnements aux journaux scientifiques.....	246,85
Bibliothèque circulante.....	93,40
Frais de bureau et frais divers (étrennes).....	551,50
Recouvrement des cotisations.....	195,55
Frais d'expériences pour les séances.....	163,00
Séance de Pâques.....	601,10
Gravure et distribution du *Bulletin* des séances.....	399,50
Agent de change.....	24,75
Versé en acompte à M. Gauthier-Villars et à M. Mouthiers, graveur, pour nos publications (*suit le détail*).....	6884,20
TOTAL DES DÉPENSES.....	11359,85
Excédent des recettes sur les dépenses (reste en caisse au 1er janvier 1887).....	535,40

L'importance prédominante, dans nos dépenses, des comptes relatifs à nos publications nous engage à en donner le détail :

	fr
Impression des ordres du jour des séances (novembre 1884 à juillet 1885)	597,60
Affranchissement de ces ordres du jour	203,70
Liste des Membres de la Société, cartes de sociétaire, circulaires, etc.	104,40
Impression et tirage du 1er fascicule du *Bulletin* de nos séances (janvier à juillet 1885)	1159,90
Versé en acompte sur le 2e fascicule du *Bulletin* de nos séances (novembre à décembre 1885)	640,10
Impression et correction des 17 premières feuilles du tome III de la Collection des Mémoires de Physique (2e vol. d'Ampère)	3952,50
Payé à M. Mouthiers, graveur, pour le même volume	226,00
TOTAL	6884,20

Situation.

Actif.

			fr
60 obligations nominatives du chemin de fer du Midi (prix d'achat)			21360,25
12 obligations au porteur du chemin de fer du Midi (prix d'achat)			4272,05
Espèces en caisse			535,40
Cotisations à recouvrer			2700,00
Volumes en dépôt chez M. Gauthier-Villars	Coulomb.	797	à 6fr le volume	10656,00
	Ampère I.	979		
		1776	TOTAL	39523,70

Il convient de remarquer qu'en calculant la valeur de nos obligations non d'après le prix d'achat, mais d'après la moyenne des cours actuels (392fr), on aurait pour leur valeur totale 28224fr au lieu de 25632fr,30, ce qui porte notre actif à la somme de 42115,40

Passif.

Le passif se réduit aux factures de M. Gauthier-Villars non encore soldées :

	fr
Complément de l'impression et du tirage du 2e fascicule du *Bulletin* de nos séances (novembre à décembre 1885)	271,90
Fascicule de janvier à juillet 1886	1205,70
Impression et affranchissement des ordres du jour de nos séances de novembre 1885 à juillet 1886	947,85
Expédition de volumes des tomes I et II de la Collection des Mémoires (en particulier 151 volumes du tome II pour les pays de l'Union postale)	233,75
Circulaire, règlement intérieur, liste des Membres	145,05
TOTAL	2804,25

Statistique.

D'après les renseignements qui nous ont été fournis par M. le Trésorier, la Société française de Physique comptait au 31 décembre dernier 679 Membres, dont :

359 habitant Paris ou dans le département de la Seine,
189 » la province ou les colonies,
89 » l'étranger.

Parmi ces Membres, les Souscripteurs perpétuels sont au nombre de :

			fr			fr
98	ayant versé	.....	200,	soit	.....	19600,00
9	»	.....	150,	»	.....	1350,90
8	»	.....	100,	»	.....	800,00
2	»	.....	50,	»	.....	100,00
					TOTAL.....	21850,00

La Commission des Comptes, ayant ainsi établi le résumé des comptes de recettes et dépenses pour l'année 1886, en propose l'approbation à la Société.

Les Membres de la Commission des Comptes,

CAEL, H DUFET, J. VIOLLE.

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 4 février est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. DUHEM, Agrégé préparateur de Physique à l'École Normale supérieure.
JARRE (Léon), à Paris.
IVANOFF (Basile), Licencié ès Sciences, à Simpheropol (Russie).
MARTIN (Joseph), à Visé (Belgique).

M. le PRÉSIDENT annonce la mort de M. Béclard, doyen de la Faculté de Médecine de Paris, membre fondateur de la Société de Physique. Il donne lecture de la lettre suivante adressée par M. le colonel Sebert, qui fait part à la Société de la mort de M. Hugoniot, capitaine d'artillerie de marine, répétiteur à l'École Polytechnique.

« Paris, 18 février 1887.

» Monsieur le Président,

» J'ai la triste mission de vous annoncer le décès de notre collègue M. le capitaine Hugoniot, mon dévoué collaborateur.

» Il est mort foudroyé par un excès de travail intellectuel, qui avait provoqué chez lui une fatigue cérébrale dont les marques n'étaient déjà que trop visibles lors de la dernière Communication qu'il a faite à la Société de Physique, dans la séance du 7 janvier dernier.

» Cette mort est une grande perte pour la Science : M. Hugoniot laisse inachevés des travaux de haute valeur, sur lesquels il pouvait compter pour rendre son nom illustre, et dont ses amis ne pourront, je le crains, compléter la publication.

» Veuillez agréer, Monsieur le Président, l'assurance de mes sentiments dévoués.

» H. Sebert. »

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance : 1° une Note de M. Vacher, *Sur le pendule composé;* 2° une Note de M. Delaurier, *Sur l'utilisation de la force des vagues et des courants de la mer.*

M. Palaz expose le résultat des mesures qu'il a faites au laboratoire de M. H.-F. Weber, à Zurich, sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques liquides. La méthode qu'il a employée permet d'utiliser une durée de charge relativement considérable ($\frac{1}{50}$ de seconde). Dans cette méthode, les deux condensateurs dont on compare les capacités C_1 et C_2 sont placés dans deux des branches d'un pont de Wheatstone, les deux autres étant occupées par des résistances variables R_1 et R_2; si l'on emploie un courant alternatif, un téléphone placé dans le pont n'émet aucun son lorsque la relation $R_1 C_1 = R_2 C_2$ est satisfaite.

L'auteur a employé deux condensateurs cylindriques identiques dont la couche isolante avait 1^{mm} d'épaisseur; on mesurait d'abord $C_2 = \frac{R_1}{R_2} C_1$ et, après avoir rempli le condensateur C_2 du liquide à étudier, on déterminait $C'_2 = \frac{R'_1}{R'_2} C_1$, d'où l'on déduisait la capacité inductive spécifique $D = \frac{C'_2}{C_2}$ du liquide en question. On a obtenu ainsi : pétrole ordinaire, 2,1234; pétrole rectifié, 2,1950; toluène, 2,3649; benzine, 2,3377; sulfure de carbone, 2,6091; huile de navet, 3,027; huile de ricin, 4,610. Afin de vérifier la loi donnée par Maxwell, d'après laquelle l'indice de réfraction d'un diélectrique est égal à la racine carrée de sa capacité inductive spécifique, M. Palaz a mesuré l'indice, pour quelques raies du spectre, de tous les liquides étudiés. L'accord est assez satisfaisant, sauf pour les deux derniers liquides.

L'auteur a, en outre, étudié l'influence de la température sur la capacité inductive spécifique; il a trouvé que la capacité inductive diminue lorsque

la température augmente; conformément à la théorie de Maxwell, cette variation est de même sens que celle de l'indice de réfraction. La variation par degré de température a été trouvée du même ordre que celle donnée par la théorie de Maxwell ($\Delta D = 2n\,\Delta n$), mais pas très concordante (benzol, $\Delta D = 0{,}0036$, $2n\,\Delta n = 0{,}0016$; toluol, $\Delta D = 0{,}0030$, $2n\,\Delta n = 0{,}0016$; sulfure de carbone, $\Delta D = 0{,}0016$, $2n\,\Delta n = 0{,}0025$).

M. Palaz termine par l'exposé de l'application qu'il a faite de cette méthode à la solution d'une question soulevée par Rowland dans sa théorie du phénomène de Hall; il s'agissait de constater si la capacité inductive spécifique d'un diélectrique varie lorsque celui-ci est soumis à une force magnétique très intense. L'auteur, en étudiant la paraffine, l'ébonite, la colophane et le soufre, est arrivé, avec une exactitude de $\frac{1}{5000}$, à un résultat négatif qui confirme celui que M. van Aubel a obtenu, à la même époque, à l'aide d'une méthode toute différente.

M. Pollard communique à la Société une méthode graphique pour représenter la succession des directions et intensités du vent en un lieu donné, méthode imaginée, il y a environ un an, par M. Garnier, sous-directeur de l'Établissement d'Indret.

Cette méthode a le grand avantage de conduire à une définition théorique du vent moyen en un point donné et pour un laps de temps donné; de plus, il est facile d'imaginer la réalisation d'un instrument enregistrant automatiquement les résultats obtenus.

M. Larocque, professeur de Mathématiques à Nantes, a mis à contribution la méthode de M. Garnier dans la rédaction de tableaux et de graphiques de Météorologie qui ont figuré l'année dernière à l'exposition de Nantes.

Le problème à résoudre est le suivant :

En un lieu donné, pendant des intervalles de temps réguliers et petits, que nous prendrons, pour fixer les idées et faciliter le langage, égaux à *une seconde*, on note simultanément la direction et la vitesse moyenne du vent, ces éléments étant fournis, par exemple, par une girouette et un anémomètre tel que le moulinet de Robinson. On forme, avec ces relevés isolés, un tableau à trois colonnes, dont la conception est aisée, mais dont l'emploi ultérieur n'est pas très simple, si l'on veut embrasser d'un coup d'œil les phénomènes qui se sont produits pendant une certaine période de temps.

Un semblable tableau peut être considéré comme la traduction d'une autre série de phénomènes.

Supposons qu'un observateur monté dans la nacelle d'un ballon, *non dirigeable cette fois*, mais suivant exactement les mouvements de la masse d'air qui l'environne, note, à chaque instant, ou plutôt, pendant les mêmes intervalles de temps, à la fois, la *vitesse d'entraînement* et la *direction de sa trajectoire*. Ce sont précisément les vitesses et directions du vent qui entraîne le ballon.

Cet observateur rédigera ainsi un tableau tout analogue au précédent. Supposons-le identique; autrement dit, admettons que le ballon ait précisément subi, à chaque instant de sa course, l'effet d'une brise dont la direction et la vitesse sont les mêmes que les éléments relevés à l'observatoire fixe primitivement considéré. On est conduit ainsi à substituer à une considération abstraite une image tout à fait saisissable, savoir la trajectoire d'un ballon.

Le commencement et la fin de chaque intervalle de temps Δt étant marqués sur la trajectoire, on lit immédiatement la direction du vent, qui est celle de la tangente, et en même temps la vitesse moyenne pendant ce petit intervalle

$$v_m = \frac{AB}{\Delta t} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Le tracé par points de cette trajectoire est facile à déduire des observations de l'aéronaute ou de celles de l'observateur immobile. On porte à la suite l'un de l'autre des traits rectilignes, ayant la direction du vent et une longueur proportionnelle à la vitesse moyenne, et cela à une échelle quelconque. Ainsi, en abandonnant le ballon dont la conception n'est qu'un simple artifice, on peut transformer le tableau numérique primitif en un graphique qui en est la représentation fidèle.

Ceci posé, considérons de nouveau le ballon et sa trajectoire. Si, au bout d'une période égale à T, il est arrivé en M, on peut dire que les choses se sont passées comme si le ballon s'était rendu directement de O en M, avec une vitesse moyenne, uniforme, $U = \frac{OM}{T}$.

La conception du trajet direct, effectué à une vitesse uniforme par le ballon, conduit immédiatement et logiquement à celle du *vent moyen* (de direction et d'intensité constantes) qui lui aurait fait exécuter le même trajet.

En revenant au premier problème, on voit que la traduction du tableau numérique en graphique a pour conséquence la *définition et la détermination immédiate du vent moyen* en un lieu donné pendant une période quelconque.

Si, la courbe revient à passer au point de départ, le vent moyen pendant cette période est nul, et la vitesse moyenne, abstraction faite de la direction, s'obtiendra en divisant le chemin parcouru par le temps.

Il est facile d'imaginer un dispositif enregistrant directement ce graphique.

Si le ballon se promenait à une petite distance d'une surface plane indéfinie, on conçoit qu'il pourrait tracer sa propre trajectoire et exécuter ainsi, lui-même, le graphique que nous avons en vue.

Il est plus pratique de renverser le dispositif. Le plan sur lequel on veut tracer le graphique est mobile dans tous les sens, tandis que l'organe enregistreur est fixe. Il se compose d'une roulette analogue à celle de l'inté-

graphe de M. Abdank Abakanowitz; la tranche est légèrement striée. Elle ne peut tourner sans provoquer un entraînement du plan dans la direction même de son plan.

Elle est portée par un étrier orienté constamment par une girouette et son mouvement de rotation est commandé par un anémomètre. De la sorte, un point immobile dans l'espace trace la trajectoire cherchée; de plus, à des intervalles de temps réguliers Δt, un stylet vient imprimer des marques supplémentaires indiquant le commencement et la fin de chaque petite période. Ces repères servent à définir la longueur du chemin parcouru dans le temps Δt et à apprécier la vitesse moyenne.

Au nom de M. Édouard Blanc, directeur de l'usine de Marly-Fribourg, M. Émile Reynier présente des accumulateurs genre Planté, *à électrodes amovibles.*

Les plaques, dont la partie active est un plissé Reynier, sont *formées* par le nouveau procédé Planté. Toute trace d'acide nitrique est enlevée, après formation, par un traitement prolongé à l'eau courante. L'expansion excessive des plissés et les gauchissements qui en résultaient sont ainsi évités. Par conséquent, il n'est plus nécessaire de courber les plaques pour diriger le foisonnement.

Chaque électrode est pourvue, à sa partie supérieure, d'un crochet en cuivre. Deux étroites rigoles, ménagées de chaque côté du couvercle, reçoivent, l'une les crochets positifs, l'autre les crochets négatifs. Du mercure remplit ces rigoles et met en bonne communication toutes les plaques de même nom. Ces mêmes rigoles permettent de coupler ensemble plusieurs accumulateurs, en tension ou en quantité, au moyen de ponts métalliques.

Ce montage très simple procure des avantages importants dans la fabrication et l'emploi des accumulateurs. Les plaques peuvent être emballées et transportées séparément, ce qui est aussi commode qu'économique. Le montage et le démontage, n'exigeant aucune soudure, n'appellent pas le secours d'un spécialiste. Enfin l'on peut, en service courant, vérifier quand on veut l'état des plaques. Le remplacement des positifs, s'il devient nécessaire après un long usage, s'opère sans frais de main-d'œuvre et sans difficulté.

Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques; par M. A. Palaz.

La mesure de la capacité inductive spécifique des diélectriques a déjà fait l'objet d'un grand nombre de travaux, sans qu'on soit pour cela arrivé à des valeurs concordantes qu'on puisse envisager comme définitives. Plusieurs diélectriques liquides, en particulier,

ont été étudiés à plusieurs reprises à l'aide de diverses méthodes, mais les résultats obtenus diffèrent considérablement entre eux. Les travaux de Schiller, de Hopkinson, de Quincke entre autres, ont donné en effet, pour la capacité inductive spécifique des diélectriques liquides usuels des valeurs concordant à 10 pour 100 près seulement. Cette concordance ne peut pas être envisagée comme suffisante, vu la perfection que comportent actuellement les mesures physiques en général. Les divergences observées proviennent en grande partie de l'influence de la durée d'électrisation employée dans les mesures. Tous ceux qui ont fait des recherches sur les diélectriques liquides dans le but d'en mesurer la capacité inductive ont utilisé des durées d'électrisation très faible ($\frac{1}{20000}$ à $\frac{1}{10000}$ de seconde). Il était intéressant de répéter ces mesures en employant une durée de charge beaucoup plus grande. C'est ce qui m'a engagé à déterminer de nouveau la capacité inductive d'un certain nombre de liquides à l'aide d'une méthode n'ayant pas encore, à ma connaissance, servi à des mesures de ce genre et permettant d'employer des durées d'électrisation de $\frac{1}{50}$ de seconde environ.

Cette méthode permettant de constater avec facilité des variations de capacité très faibles était tout indiquée pour étudier l'influence de la température sur la capacité inductive spécifique, influence déjà pressentie par tous ceux qui se sont occupés de mesures exactes dans ce domaine, mais qui n'avait pas encore pu être déterminée numériquement. Les résultats auxquels je suis arrivé démontrent l'existence de cette influence de la température d'une manière irréfutable, la capacité inductive spécifique des liquides que j'ai étudiés diminuant lorsque la température augmente.

Il s'agissait en outre de vérifier la relation que Maxwell a déduite de sa théorie électromagnétique de la lumière entre la capacité inductive spécifique et l'indice de réfraction d'une même substance. Dans ce but, j'ai déterminé l'indice de réfraction, pour les raies principales du spectre, de tous les liquides soumis à mes recherches.

Profitant des dispositions expérimentales employées dans les mesures indiquées ci-dessus, j'ai recherché si la capacité inductive des isolants varie lorsqu'ils sont soumis à une force magnétique intense. Dans les limites de l'exactitude atteinte, c'est-à-dire à

0,0007 près, il a été impossible de constater une influence de l'action magnétique sur la capacité inductive spécifique des quatre diélectriques étudiés relativement à ce point, savoir de la paraffine, de l'ébonite, de la colophane et du soufre.

2. La méthode de mesure que j'ai employée est une simple modification du pont de Wheatstone; les deux condensateurs dont on veut comparer les capacités C_1 et C_2 remplacent la résistance à mesurer et la résistance étalon; les deux autres branches du pont sont occupées par deux résistances variables R_1 et R_2. On démontre assez facilement (¹) qu'un téléphone placé dans le pont n'émet aucun son, lorsqu'on emploie un courant alternatif, si la condition $R_1C_1 = R_2C_2$ est satisfaite.

Les deux condensateurs employés l'un C_1 comme étalon, l'autre C_2 comme condensateur alternativement vide et plein du liquide à étudier étaient formés de deux cylindres en laiton emboîtant l'un dans l'autre et isolés par des fragments d'ébonite, en sorte que la couche libre, comprise entre les deux surfaces cylindriques, avait une épaisseur de 1^{mm} environ. La hauteur des condensateurs était de 437^{mm}, leur rayon de $50^{mm},7$.

La capacité du second condensateur exprimée en fonction de celle du premier est, lorsque la couche isolante est une couche d'air,

$$C'_2 = \frac{R'_1}{R'_2} C_1,$$

et lorsque c'est une couche de liquide

$$C''_2 = \frac{R''_1}{R''_2} C_1,$$

La capacité inductive spécifique du liquide est alors, en admettant que celle de l'air est égale à l'unité

$$D = \frac{C''_2}{C'_2}.$$

Les résistances variables R_1 et R_2 doivent avoir un coefficient de

(¹) *Journal de Physique*, p. 370; 1886. *Archives des Sciences physiques*. t. XVII, p. 287.

self-induction très faible, afin que la méthode donne des résultats exacts. Elles étaient formées par six couples de fils de maillechort de $0^{mm},15$ de diamètre, tendus sur des isolateurs paraffinés entre les parois du laboratoire et aboutissant à des bornes soigneusement isolées, qui permettaient de faire toutes les combinaisons nécessaires. Trois rhéostats formés chacun de deux fils de maillechort avec un curseur à contact de mercure donnaient la possibilité de faire varier les résistances des branches du pont par degrés insensibles et d'amener ainsi le téléphone à rester silencieux.

L'exactitude de la mesure de la capacité inductive spécifique dépend de celle avec laquelle les résistances R_1 et R_2, correspondant au bruit minimum du téléphone, peuvent être déterminées. Or, en général, il a été possible de fixer la position du curseur des rhéostats I à III à $0^{m},02$ ou $0^{m},03$ près, ce qui correspond à une exactitude de $0^{ohm},2$ sur 400 ohms en moyenne ou de 0,0005; l'erreur maximum d'une détermination de D est ainsi de 0,002.

En faisant varier l'intensité du courant primaire de la bobine d'induction utilisée dans les mesures, le potentiel moyen de charge pouvait varier dans le rapport de 1 à 64; en effectuant les mesures à l'aide de ces valeurs extrêmes du potentiel moyen de charge, il n'a pas été possible d'observer une variation dans la capacité inductive spécifique du toluol, du benzol et du pétrole; une variation de D de 0,001 aurait pu être constatée facilement.

Il a été par contre possible de constater une variation très sensible de la capacité inductive spécifique avec la température et de la déterminer d'une manière assez exacte. Les mesures ont été faites à des températures voisines de 3°, de 15°, de 30° et de 45°.

Les mesures à une température au-dessus de celle de l'air ambiant ont été faites en plaçant le condensateur n° 3 dans une étuve à air chaud dont la température pouvait être réglée à volonté.

Les températures inférieures à la moyenne ont été obtenues à l'aide d'une double enveloppe cylindrique en métal dont l'espace libre était rempli de glace concassée. Cet appareil avait un défaut impossible à éviter complètement, savoir la condensation de la vapeur d'eau sur les parois du condensateur.

La température du condensateur a été mesurée à l'aide de deux thermomètres placés à mi-hauteur du cylindre et à $0^{cm},5$ des parois intérieure et extérieure.

Le remplissage des condensateurs a toujours été fait avec le plus grand soin de manière à éviter la production des bulles d'air dans l'intérieur de la masse liquide. Cet écueil a pu être complètement écarté, ainsi que l'a montré constamment la concordance des résultats.

L'influence d'un contact permanent d'une heure du liquide avec les parois du condensateur a été trouvée inférieure à 0,5 pour 100; cependant toutes les mesures ont été effectuées aussi rapidement que possible dans le premier quart d'heure après le remplissage.

Voici les valeurs obtenues pour le toluol, le benzol et le sulfure de carbone. Chacun des nombres ci-dessous est la moyenne de plusieurs mesures indépendantes :

Température.	Capacité inductive D.	Variation pour 1° ΔD.
	Benzol.	
15°,8	2,3407	
18,7	2,3309	0,00338
32,3	2,2837	0,00348
47,2	2,2483	0,00238
	Toluol.	
3,6	2,3751	
17,2	2,3649	0,00072
44,8	2,2637	0,00366
	Sulfure de carbone.	
2,8	2,2696	
14,8	2,6150	0,00160
16,7	2,6033	

Il ne m'a pas été possible de faire, à un nombre suffisant de températures convenablement espacées, assez de mesures pour déterminer avec exactitude les coefficients de la formule

$$D = D_0 + \alpha t + \beta t^2,$$

qui semble représenter assez exactement la marche de la capacité inductive avec la température.

3. Afin de pouvoir comparer la capacité inductive spécifique D des liquides étudiés avec leur indice de réfraction, j'ai déterminé cet indice pour les raies principales du spectre. D'après Maxwell, il y a égalité entre la racine carrée de la capacité inductive spécifique et le premier coefficient de la formule de dispersion de Cauchy, c'est-à-dire l'indice de réfraction pour une longueur d'onde infiniment grande. Or cette valeur dépendant du nombre de termes que l'on donne à la formule et correspondant à une longueur d'onde qui n'a pas une signification physique déterminée, il m'a paru préférable de faire la comparaison en vérifiant si la coïncidence des valeurs de $\sqrt{D}$ et de n a lieu, dans toutes les substances, pour la même longueur d'onde. Même en tenant compte de l'influence de la température, cette relation n'est vérifiée que d'une manière approchée. Le Tableau suivant donne les résultats obtenus :

	Température.	Indice de réfraction pour les raies. G.	F.	D.	B.	Température.	D.	$\sqrt{D}$.
Pétrole ordinaire n° 1.	25°,5		1,4550	1,4487	1,4460	16,2	2,1234	1,457
» » n° 2.	25,7		1,4539	1,4477	1,4454	15,4	2,0897	1,445
» rectifié.....	26,2		1,4840	1,4766	1,4744	17,7	2,1950	1,481
Toluol n° 1.....	21,9	1,5167	1,5062	1,4949	1,4903	17,7	2,3646	1,537
» n° 2.....	22,3	1,5165	1,5060	1,4948	1,4901	17,2	2,3649	1,537
Benzol.....	22,0	1,5226	1,5115	1,4997	1,4949	17,2	2,3377	1,517
Sulfure de carbone .	21,6	1,6759	1,6516	1,6269	1,6174	25,7	2,6091	1,609
Huile de navet	24,8			1,4706		21,0	3,027	1,737
Huile de ricin	24,6			1,4772		20,9	4,610	2,147

On sait que l'indice de réfraction des corps en général diminue lorsque la température augmente.

La variation de la capacité inductive spécifique que j'ai constatée étant de même sens que celle de l'indice de réfraction, on a là une nouvelle confirmation de l'hypothèse de Maxwell.

Il y a même plus. Si Δn et ΔD sont les variations de l'indice de réfraction et de la capacité inductive spécifique pour 1° de température, la théorie de Maxwell donne la relation

$$\Delta D = 2n\,\Delta n.$$

Or voici les valeurs de ces expressions pour les liquides étudiés :

	ΔD.	$2n\,\Delta n$.
Benzol	0,0031	0,0016
Toluol	0,0022	0,0016
Sulfure de carbone	0,0016	0,0025

La concordance des nombres ci-dessus peut être considérée comme assez satisfaisante si l'on tient compte de l'incertitude possible des valeurs de ΔD.

4. J'ai profité de l'installation ayant servi aux mesures précédentes pour essayer de résoudre une question soulevée par Rowland dans sa théorie du phénomène de Hall. Rowland a en effet démontré que le même phénomène doit se manifester dans les diélectriques, c'est-à-dire que le magnétisme doit avoir une influence sur la polarisation dans les diélectriques et, partant, modifier la valeur de leur capacité inductive spécifique.

Voici la disposition expérimentale qui a servi à étudier les variations de la capacité inductive de quelques diélectriques solides sous l'influence d'une force magnétique intense.

Le condensateur formé de deux disques de cuivre polis, de dimensions égales, séparés par la plaque du diélectrique à étudier, était installé sur un support isolant entre les pôles d'un puissant électro-aimant Ruhmkorff placé verticalement et excité par le courant d'une machine Gramme. Un condensateur à disques de Kohlrausch, avec une couche d'air comme diélectrique, servait de condensateur de comparaison. Les deux disques du condensateur placé dans le champ magnétique étaient serrés mécaniquement l'un contre l'autre, afin d'éviter les variations de capacité provenant des changements possibles dans la distance des armatures.

Les mesures qui permettaient d'observer des variations de capacité de moins de 0,0007 portèrent sur des disques de paraffine, d'ébonite, de colophane et de soufre, d'épaisseurs différentes, variant entre 1^{mm}, 5^{mm} et 7^{mm}.

Il fut impossible d'observer la moindre variation dans la capacité du condensateur, soit en déterminant successivement la position des curseurs des rhéostats réglant les résistances R_1 et R_2, correspondant au bruit minimum du téléphone dans le cas d'un

champ neutre et d'un champ magnétique, soit en observant si une variation d'intensité du bruit minimum était perceptible à la suite de l'aimantation et de la désaimantation rythmiques de l'électro-aimant.

SÉANCE DU 4 MARS 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 février est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Gérard (Éric), Professeur à l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

Hénocque (Dr Albert), Directeur adjoint du laboratoire de Médecine de l'École des Hautes-Études au Collège de France

M. le Secrétaire général donne lecture d'une lettre de M. C.-S. Minot, de Boston, Secrétaire du Comité de la fondation Thompson (*Elisabeth Thompson Science Fund.* 625000fr), annonçant que les revenus annuels de cette somme sont actuellement disponibles et seront distribués à des savants, sans acception de nationalité, qui auraient besoin d'une aide pécuniaire pour des travaux d'ordre scientifique présentant un intérêt général. Le Secrétaire général se tient à la disposition des Membres de la Société qui désireraient de plus amples renseignements.

M. le Président communique à la Société une circulaire du Ministre de l'Instruction publique, annonçant que le vingt-cinquième Congrès des Sociétés savantes s'ouvrira à la Sorbonne le 31 mai prochain.

Il annonce, à ce sujet, que le Conseil de la Société a délibéré sur la question de savoir si la réunion et l'exposition annuelles, dites *réunion de Pâques,* devaient être maintenues à cette époque ou reportées à la Pentecôte comme le Congrès des Sociétés savantes, et a décidé, avant de présenter son avis à la Société, de provoquer une consultation générale auprès de tous les Membres de la Société. M. le Président invite les Membres de la Société à vouloir bien répondre dans le plus bref délai aux questions qui vont leur être adressées.

M. Foussereau expose ses recherches sur la décomposition lente des chlorures par l'eau. On sait depuis longtemps que les dissolutions des sels ferriques éprouvent, sous l'influence de la chaleur, une altération chimique qui se manifeste par une coloration rougeâtre. Il se produit un hydroxyde en

pseudo-solution et une partie de l'acide du sel est éliminée, puis l'hydroxyde se précipite peu à peu à l'état insoluble. L'auteur est parvenu à écarter ce dernier phénomène, en opérant sur des dissolutions très étendues de perchlorure de fer, dont la concentration était comprise entre $\frac{1}{500}$ et $\frac{1}{35000}$, et en les maintenant à l'abri de la lumière qui intervient dans la précipitation du composé formé. On se trouve alors en présence d'un phénomène réversible s'accomplissant dans chaque cas jusqu'à une limite qui dépend des conditions où le sel est placé.

M. Foussereau a appliqué à l'étude de ces phénomènes une méthode déjà employée par lui dans ses recherches antérieures et reposant sur la mesure des résistances électriques des dissolutions étudiées. Cette méthode présente l'avantage de conserver toute la sensibilité quand la concentration décroît. Les dissolutions étaient, après leur préparation, partagées en plusieurs portions, que l'on maintenait à des températures déterminées. On prélevait sur ces liquides des échantillons qu'on refroidissait rapidement et dont on mesurait la résistance à une température voisine de 15°. On réduisait ensuite toutes ces résistances à une même température par l'application d'une formule de correction.

On peut résumer comme il suit les résultats obtenus :

1° A une température déterminée, la conductibilité d'une dissolution croît, d'abord très vite, puis plus lentement à partir de sa valeur initiale C_0, et tend vers une limite déterminée C.

2° La vitesse de la réaction croît à mesure que la température s'élève.

3° La limite C croît à mesure que la température s'élève, jusqu'à une valeur C_1 correspondant à une certaine température θ, à partir de laquelle elle ne change plus, la réaction étant sensiblement complète. La valeur de C_1 est en général supérieure au double de C_0.

4° Quand le liquide, chauffé d'abord au-dessus de θ, est ramené à une température t inférieure à θ, sa conductibilité diminue progressivement et tend vers la limite C qui correspond à la température t.

5° En mêlant en proportions déterminées la dissolution non altérée de conductibilité C_0 et la dissolution complètement modifiée de conductibilité C_1, et en mesurant les conductibilités de ces mélanges, on établit une relation entre la variation relative de conductibilité $\alpha = \frac{C - C_0}{C_1 - C_0}$ et le coefficient d'altération K, ou poids de liquide modifié contenu dans l'unité de poids du liquide total. Ces deux quantités sont égales quand la solution dépasse $\frac{1}{10000}$. La mesure de la conductibilité permet ainsi de calculer dans chaque cas l'altération subie par le liquide.

6° A mesure que la concentration décroît, la vitesse initiale d'altération croît, la limite correspondant à une même température s'élève et la température θ, qui correspond à l'altération complète, s'abaisse.

7° L'addition d'acide chlorhydrique à une liqueur qui a atteint le voisinage de sa limite la fait rétrograder vers son état primitif. Sa conductibilité va alors en décroissant jusqu'à une nouvelle limite.

8° Les phénomènes étudiés s'étendent à des chlorures variés, principalement à ceux dont l'équivalent renferme plusieurs équivalents de chlore.

Les chlorures alcalins ne fournissent pas d'altération sensible dans les conditions de l'expérience.

Le chlorure de magnésium présente une altération faible.

Le chlorure d'aluminium ne s'altère sensiblement à 15° qu'à partir de la concentration $\frac{1}{25000}$; mais, pour des concentrations beaucoup plus fortes, il s'altère aux températures voisines de 100°. Ces altérations présentent tous les caractères de réversibilité déjà signalés.

Le chlorure double de rhodium et de sodium subit des altérations réversibles déjà notables pour la concentration $\frac{1}{100}$. Les altérations de ce sel sont d'une lenteur extrême.

9° Le chlorure de platine se comporte dans l'obscurité comme les sels précédents. Mais ses réactions directes et inverses sont accélérées par l'action de la lumière, sans que leur limite soit changée. Les rayons solaires directs ont pu produire en cinquante minutes un effet qui a exigé sept jours pour se produire dans l'obscurité.

Le chlorure d'or présente les mêmes phénomènes, plus accentués encore. Ses altérations sous l'influence des rayons solaires sont presque instantanées.

M. Duhem expose une théorie des phénomènes pyro-électriques.

Gaugain a cherché à rapprocher les phénomènes pyro-électriques des phénomènes thermo-électriques; son idée, qui avait été à peu près abandonnée, peut être reprise et généralisée.

1. Le fait fondamental qu'il s'agit d'expliquer est le suivant :

Entre les deux faces d'une lame de tourmaline taillée normalement à l'axe d'hémiédrie, existe une force électromotrice lorsque l'équilibre de températures est troublé entre la lame et le milieu extérieur; cette force électromotrice change de sens suivant que la lame de tourmaline s'échauffe ou se refroidit.

La théorie des phénomènes thermo-électriques indique deux conditions nécessaires pour que la force électromotrice ne soit pas nulle :

1° Il doit exister des différences de température entre les divers points de la lame;

2° La structure de la lame doit être hétérogène.

Les différences de température sont dues à ce fait que, dans une lame qui se refroidit, les régions internes sont plus chaudes que les régions externes, tandis que l'inverse a lieu pour une lame qui s'échauffe. Le manque d'homogénéité est dû à la *structure réticulaire* de la substance.

Considérons un milieu à structure réticulaire dans lequel les surfaces isothermes sont des plans parallèles. Entre deux surfaces isothermes voisines existe une force électromotrice proportionnelle à la différence de température et à un facteur qui dépend de l'orientation des surfaces iso-

thermes. Si, à partir d'un point, sur chaque rayon vecteur on porte une longueur proportionnelle à la valeur de ce facteur, pour l'orientation que représente ce rayon vecteur, on obtient la *surface de pyro-électricité.*

Pour connaître la force électromotrice d'une lame de tourmaline, il suffit de multiplier la différence de température qui existe entre l'intérieur de cette lame et la surface par la différence des deux rayons vecteurs de la surface de pyro-électricité normaux à la surface de la lame.

La considération de la surface de pyro-électricité conduit aux lois des phénomènes pyro-électriques et notamment aux conditions indiquées par M. Mallard pour qu'un cristal soit pyro-électrique.

Les phénomènes de piézo-électricité ne sont que des phénomènes de pyro-électricité dans lesquels l'échauffement est dû à la compression. Cette explication rend compte de toutes les particularités de ces phénomènes. Les variations de volume que subissent les cristaux piézo-électriques lorsqu'on les électrise sont dues à une distribution inégale de températures qui se produit dans de semblables cristaux par l'effet de l'électrisation.

M. P. Curie pense que la conductibilité dans la théorie de M. Duhem est une conductibilité fictive qui intervient comme un artifice de calcul. — Prenons une tourmaline avec circuit extérieur conducteur réunissant ses extrémités; en faisant varier la température du cristal, les phénomènes électriques sont absolument différents de ceux que l'on obtient en faisant naître et disparaître une force électromotrice dans le circuit extérieur.

M. Curie admet que les phénomènes pyro- et piézo-électriques ont une origine commune, la déformation du cristal. Mais il ne saurait admettre qu'ils soient identiques et que la compression n'agisse que comme producteur de chaleur. Les effets calorifiques mis en jeu par la compression sont beaucoup trop minimes pour expliquer le dégagement d'électricité observé. De plus, le dégagement d'électricité par pression est instantané, ce qui ne serait pas s'il fallait attendre le refroidissement du cristal.

M. Duhem répond que l'on sait, depuis M. Du Bois-Reymond et Gaugain, que les phénomènes produits dans le circuit extérieur d'une tourmaline sont identiques aux phénomènes produits dans le circuit extérieur d'une pile de grande force électromotrice et de grande résistance. Quant aux autres faits signalés par M. Curie, ils sont des conséquences de la théorie de M. Duhem.

M. Vaschy fait observer qu'il semble résulter des lois expérimentales connues que l'électrisation Q prise par un cristal est proportionnelle à son *élévation de température* ($T'_1 - T'_0$) *et se maintient* (sauf déperdition lente par conductibilité) lorsque la température finale T'_1 devient uniforme dans le cristal. D'après M. Duhem, cette électrisation serait au contraire proportionnelle à la *différence actuelle* ($T_1 - T_0$) de température entre les faces et le milieu du cristal; le maintien prolongé de la charge Q con-

duirait alors à admettre que la différence ($T_1 - T_0$) se maintient en réalité, alors qu'il semble que la température est devenue uniforme.

M. Duhem répond que la charge Q ne se maintient, après que la température est devenue uniforme, que dans les cristaux mauvais conducteurs; il n'a envisagé que les substances conductrices.

Sur la décomposition lente des chlorures par l'eau; par M. G. Foussereau.

On a observé depuis longtemps que divers sels de peroxyde de fer, en particulier le perchlorure, subissent en présence de l'eau des altérations progressives. La dissolution, primitivement incolore ou faiblement colorée, prend une nuance rougeâtre de plus en plus prononcée. Il y a séparation partielle de l'acide et formation de produits hydratés solubles ou pseudo-solubles donnant à la liqueur sa coloration. En même temps un second phénomène, qui paraît être favorisé par l'action de la lumière, amène une nouvelle modification moléculaire de l'hydroxyde ou de l'hydroxychlorure formé et en provoque la précipitation à l'état insoluble.

De nombreux expérimentateurs ont signalé la production de ces effets sous l'influence d'une élévation de température et en ont fait l'objet de recherches. Rappelons notamment l'étude faite par Péan de Saint-Gilles (1) sur l'acétate ferrique, les expériences de Graham (2) sur l'oxyde de fer colloïdal contenu dans la dissolution des sels basiques, les recherches de M. Debray (3) sur le perchlorure de fer, celles de Krecke (4) et de Tichborne (5) sur le même sujet, les expériences de M. G. Wiedemann (6) fondées sur l'étude des propriétés magnétiques.

---

(1) Péan de Saint-Gilles, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XLVI, p. 47.

(2) Graham, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LXV, p. 177.

(3) Debray, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, t. LXVIII, p. 913.

(4) Krecke, *Archives néerlandaises*, t. VI, 1871.

(5) Tichborne, *Proceed. of the Royal Irish Academy*, 1871.

(6) G. Wiedemann, *Annalen der Phys. und Chem.*, N. F., V, p. 45; 1878.

M. Berthelot ([1]) a fait une série de recherches, qui ont porté plus particulièrement sur le sulfate, l'azotate et l'acétate ferrique. L'observation des phénomènes thermiques qui accompagnent les réactions l'ont conduit à un ensemble de résultats concernant l'influence de la dilution, du temps, de la chaleur, des proportions d'acide et de base, enfin de la présence d'un autre sel.

J'ai entrepris d'appliquer à l'étude des questions de cet ordre une méthode différente de celles qui ont été employées par les auteurs que je viens de citer. Elle consiste à mesurer les résistances électriques qui caractérisent à une même température les dissolutions salines parvenues à divers degrés d'altération, et à tirer de ces mesures une évaluation de l'altération subie. Comme ces résistances varient généralement entre des limites très étendues, leur détermination permet de préciser l'interprétation des faits, en étendant leur examen à beaucoup de cas où les autres méthodes ne présentent plus qu'une sensibilité insuffisante. En particulier, on peut ainsi opérer avec précision sur des liquides extrêmement dilués, qui se prêteraient mal à d'autres genres d'expériences.

Le procédé adopté pour la mesure des résistances et la disposition expérimentale dont j'ai fait usage ont été décrits dans un travail précédent ([2]). Cette méthode m'a déjà servi à étudier la résistance des sels fondus ([3]) et, avec quelques modifications, celles de l'eau distillée ([4]) et de l'alcool absolu ([4]).

Le tube de verre à quatre branches verticales contenant le liquide à étudier était plongé dans un bain d'eau muni d'un thermomètre. Le tout était disposé à l'intérieur d'une boîte rectangulaire en bois, permettant de maintenir au besoin l'appareil dans l'obscurité. Le couvercle de cette boîte était formé d'une plaque d'ébonite traversée par la tige du thermomètre et par les fils nécessaires aux communications électriques.

([1]) Berthelot, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 4e série, t. XXX, p. 152, 1873. *Essai de Mécanique chimique*, t. II, p. 284.

([2]) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. V, p. 244. *Séances de la Soc. de Phys.*, année 1884, p. 212.

([3]) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 6e série, t. V, p. 355 et 333 et *Séances de la Soc. de Phys.*, année 1884, p. 231 et 236.

([4]) *Séances de la Soc. de Phys.*, année 1885, p. 175.

Toutes les mesures ont été faites à la température ordinaire du laboratoire ou à une température voisine, choisie de manière à atténuer l'influence des variations de la température extérieure. Les résistances obtenues [1] étaient ensuite réduites à la température 0° par l'application de la formule

$$R_0 = R(1 + \mu t),$$

dans laquelle μ représente un coefficient numérique obtenu pour chaque sel par des expériences préalables croisées de manière à éliminer l'influence de l'altération qui se produisait pendant la durée de ces déterminations. Les valeurs de μ, obtenues pour les divers sels étudiés aux différents degrés de concentration et d'altération, furent trouvées très voisines les unes des autres [2]. Elles oscillent autour de 0,033. La température du bain ayant peu varié, les petites erreurs qui peuvent demeurer sur l'évaluation du coefficient μ n'affectent que d'une manière négligeable les rapports des résistances réduites.

I. — Recherches sur le perchlorure de fer.

Les expériences sur le perchlorure de fer ont été les plus étendues. Ces expériences ont porté sur des dissolutions contenant des quantités de sel comprises entre $\frac{1}{581,4}$ et $\frac{1}{33260}$ en poids. On n'a pas dépassé la première concentration, parce que le phénomène de décomposition du sel en acide et hydroxyde soluble, phénomène réversible qu'il convient d'isoler, se complique aux concentrations plus grandes d'une précipitation partielle d'hydroxyde insoluble. Ce dernier phénomène peut être évité à peu près complètement aux grandes dilutions, si l'on a soin de maintenir le liquide à l'abri de la lumière.

La limite inférieure $\frac{1}{33260}$ a été adoptée pour éviter d'introduire des perturbations dues à la conductibilité de l'eau distillée.

---

(1) La résistance mesurée était celle d'une colonne cylindrique de liquide de 6^{cm} de longueur et de $0^{cm},81$ de diamètre.

(2) M. Bouty (*Séances de la Soc. de Physique*, année 1884, p. 118) avait déjà constaté que les valeurs de ce coefficient sont presque identiques pour des sels très variés.

Un poids connu de sel était dissous dans un poids déterminé d'eau distillée. Aussitôt après la préparation de cette dissolution, on en mesurait la résistance. On partageait ensuite le liquide en plusieurs portions, dont une était laissée à la température ordinaire, tandis que d'autres étaient portées et maintenues dans des récipients entourés d'un bain-marie, soit à 100°, soit à des températures intermédiaires. On prélevait sur ces dernières des échantillons, qu'on refroidissait rapidement et dont on mesurait la résistance.

J'ai reconnu ainsi que ces dissolutions s'altèrent à toute température, en prenant des résistances décroissantes. Cette circonstance pouvait être prévue, puisque la décomposition du sel produit, outre l'hydrate soluble, de l'acide chlorhydrique environ trois fois plus conducteur à lui seul que le sel qui lui a donné naissance.

Le changement de conductibilité, très lent aux températures ordinaires, s'accélère à mesure que la température s'élève et devient très rapide à 100°. Il n'est cependant pas instantané, même à cette dernière température. Ainsi une dissolution contenant $\frac{1}{581,4}$ de sel et présentant la résistance réduite initiale

$$R_0 = 5526^{\text{ohms}}$$

a été portée à 100°, puis maintenue quelque temps à cette température.

On en préleva successivement plusieurs échantillons dont on mesura la résistance après les avoir refroidis. On a obtenu ainsi les résultats suivants :

Durées de chauffe.	Résistances.
m	ohms
0	5526
1	2413
5	2102
15	2048
33	2016
70	2020
100	2015

On voit que la résistance va en diminuant jusqu'à la valeur 2016, qui correspond à trente-trois minutes de chauffe. Elle reste ensuite stationnaire. Le sel a atteint son état définitif.

Une autre portion du même liquide, maintenue à 84°, prend aussi des résistances décroissantes, mais suivant une progression moins rapide. Après quatre-vingts minutes seulement, les mesures fournissent des résistances sensiblement invariables :

2023, 2013, 2020.

Dans la limite d'exactitude des expériences, ces résultats sont identiques aux précédents.

Il n'en est plus de même à 69°,2. Après cinq heures huit minutes de chauffe, la résistance, devenue à peu près stationnaire, a pour valeur

2127,

chiffre notablement plus élevé que les précédents.

Enfin, à la température ordinaire du laboratoire, au bout de soixante-quatorze jours, le liquide a pris une coloration prononcée. Mais sa résistance est encore

3792,

et continue à diminuer très lentement.

Les faits suivants peuvent être conclus de ces résultats :

1° L'altération du liquide est d'autant plus rapide que la température est plus élevée;

2° Aux basses températures, cette altération tend vers une limite qui s'éloigne de l'état primitif à mesure que la température s'élève;

3° Au-dessus d'une certaine température, cette limite demeure sensiblement la même. On peut dès lors regarder la modification chimique comme complètement accomplie.

L'étude du perchlorure de fer à des dilutions plus étendues confirme ces résultats.

Reprenons maintenant la dissolution modifiée par son maintien à la température 100° et laissons-la séjourner pendant un temps suffisant à une température plus basse t, à laquelle la réaction directe serait incomplète. Dans ces conditions, le liquide reprend des résistances progressivement croissantes, c'est-à-dire qu'il rétrograde vers son état primitif. Ce retour en arrière se ralentit de

plus en plus, à mesure que la résistance se rapproche d'une certaine limite. Cette limite est identique à celle que tend à atteindre la résistance décroissante de la dissolution primitive, quand on la maintient à cette même température t.

Par exemple, une partie de la dissolution précédente, après avoir fourni à 100° la résistance

2015,

a été ramenée à 69°,6 ; sa résistance est devenue :

	h m	
Après	1. 2	2049
»	3.40	2076
»	5.48	2098
»	7.30	2114

Ce dernier résultat diffère peu de 2127 obtenu par l'observation du liquide primitif à la même température.

Une autre portion de la dissolution modifiée a été laissée à la température ordinaire pendant plusieurs mois. La résistance atteignait :

Après	2 jours	2084
»	4 »	2136
»	11 »	2291
»	24 »	2426
»	74 »	2915

Ce dernier chiffre est encore éloigné de 3792, auquel est parvenu le liquide primitif au bout du même temps. Mais ils continuent à se rapprocher. Les réactions étant très lentes à la température ordinaire, il faudrait des années pour les amener à se confondre sensiblement. Avec des dissolutions plus étendues, la réaction devient beaucoup plus rapide, même à cette température, et permet d'observer une limite plus exactement déterminée.

Reprenons enfin une portion du liquide qui, après vingt-quatre jours de refroidissement, a rétrogradé jusqu'à la résistance 2426, et reportons-le à 100° une seconde fois. Sa résistance après trente minutes de chauffe redevient

2035,

nombre très voisin de ceux qu'on avait trouvés d'abord à la même température. Ramenons-le aux basses températures : il rétrograde

de nouveau vers des résistances plus élevées. L'expérience reproduite plusieurs fois fournit les mêmes résultats.

Les dissolutions observées ont été maintenues pendant ces expériences à l'abri de la lumière. Quand on les laisse exposées au jour, il s'y dépose lentement un précipité d'hydroxyde insoluble, et la résistance du liquide augmente. Il en résulte que l'hydroxyde à l'état pseudo-soluble contribue au passage de l'électricité à travers la dissolution.

Les dissolutions très étendues et fortement acides ne peuvent être conservées dans des récipients en verre. J'ai constaté qu'une dissolution contenant $\frac{1}{13200}$ d'acide chlorhydrique, maintenue dans un flacon de verre, prend des résistances progressivement croissantes par suite de la transformation de l'acide en chlorure de sodium moins conducteur. Cette transformation s'effectue aux dépens du verre. A la température 100° la résistance de cette même dissolution a varié du simple au double en moins d'une heure.

On n'observe rien de semblable, quand les liquides sont conservés dans des vases de porcelaine. J'ai été conduit ainsi à employer de petits ballons de porcelaine, d'une contenance d'environ un quart de litre.

Mesure de l'altération produite. — On peut se proposer de déterminer quelle est, à un instant donné de l'expérience, la fraction transformée K de la masse totale, c'est-à-dire le poids de liquide modifié contenu dans l'unité de poids du mélange total. Nous donnerons à cette quantité le nom de *coefficient d'altération.*

Pour l'obtenir, il faut chercher une relation entre elle et la résistance réduite que fournit l'expérience. On y arrive en mêlant en proportions connues le liquide primitif récemment préparé et encore intact, avec le liquide complètement modifié par le chauffage à 100°. Ces mélanges correspondent à des valeurs connues de l'altération K, et la mesure de leurs résistances permet d'établir la relation cherchée.

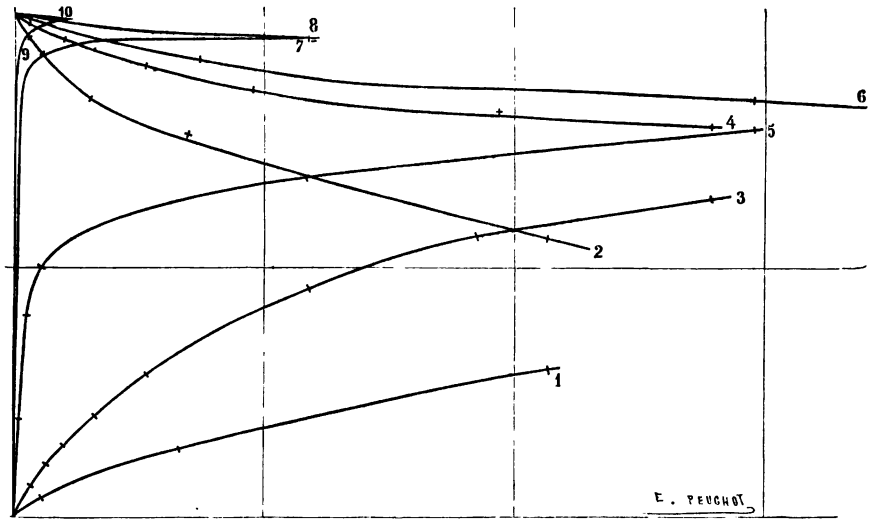
J'ai opéré ainsi, pour chaque degré de concentration, sur trois mélanges contenant respectivement $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$ du liquide modifié.

J'ai reconnu tout d'abord que les variations de la résistance sont très loin d'être proportionnelles à celles de l'altération. En

observant les variations des inverses des résistances, c'est-à-dire des conductibilités, on se rapproche beaucoup plus de la proportionnalité aux altérations chimiques.

Désignons par C_0 et C_1 les conductibilités du liquide primitif et du liquide complètement modifié, par C celle de la dissolution observée. La quantité

$$\alpha = \frac{C - C_0}{C_1 - C_0}$$



ne diffère pas beaucoup du coefficient d'altération K. On trouve que les résultats sont représentés d'une manière satisfaisante par des expressions de la forme

$$K = \alpha[1 + A(1 - \alpha)],$$

dans laquelle le coefficient numérique A est évalué au moyen des trois expériences préalables que je viens de décrire. Chacune de ces trois expériences fournit pour A une valeur peu différente. On a adopté comme valeur de cette constante leur moyenne arithmétique. Les erreurs que l'on pourra commettre seront faibles, A étant toujours assez petit.

Les valeurs trouvées pour le coefficient A, correspondant à diverses concentrations, décroissent de 0,1554 pour la concentration $\frac{1}{581,4}$ à 0,0067 pour la concentration $\frac{1}{8206}$.

Au delà de cette dernière concentration, on peut regarder comme négligeable la valeur de ce coefficient. L'altération est alors égale à la variation de conductibilité et la formule se réduit à

$$K = \alpha.$$

Les résultats obtenus sont représentés, par les courbes de la figure ci-contre dont les abscisses figurent les temps et les ordonnées les coefficients d'altération. Les courbes 1, 3, 5, 7, 9 correspondent aux dissolutions non chauffées, et les courbes 2, 4, 6, 8, 10 aux dissolutions préalablement portées à 100°, pour les concentrations $\frac{1}{581,4}$, $\frac{1}{1469}$, $\frac{1}{5414}$, $\frac{1}{22695}$, $\frac{1}{33260}$.

Influence de la concentration sur la limite. — 1° On voit immédiatement, à l'inspection de ces courbes, que la limite commune, vers laquelle tendent les dissolutions de même concentration, est d'autant plus voisine de l'état primitif que la concentration est plus grande. Cela revient à dire que le rôle de l'eau croît en importance à mesure que sa proportion croît dans le mélange :

Concentrations.	Limites.
$\frac{1}{581,4}$	Entre 0,30 et 0,50
$\frac{1}{1469}$	Entre 0,64 et 0,78
$\frac{1}{5414}$	Environ 0,82
$\frac{1}{22695}$	» 0,95
$\frac{1}{33260}$	» 0,98

Influence du temps. — 2° La vitesse initiale d'altération croît plus vite que l'inverse du carré de la concentration. Cette vitesse diminue ensuite très rapidement à mesure qu'on s'approche de la limite. Au contraire, la rétrogradation devient plus lente à mesure que la concentration diminue; mais, comme la limite se rapproche en même temps de l'unité, le temps total nécessaire pour atteindre le voisinage de cette limite va en décroissant.

Pour atteindre une valeur de K égale à 0,25, il faut, pour les cinq dissolutions comparées, les temps suivants :

$$54^j,\quad 15^j,\quad 28^h,\quad 39^m,\quad 14^m.$$

Influence de la température sur la limite. — La température

à partir de laquelle l'altération est complète s'abaisse à mesure que la concentration diminue.

Concentrations.	Températures d'altération complète.
$\frac{1}{581,4}$	84°
$\frac{1}{1469}$	76
$\frac{1}{5414}$	65
$\frac{1}{22695}$	42
$\frac{1}{33260}$	30

Influence de l'excès d'un des éléments de la réaction. — Les phénomènes que nous venons d'exposer étant dus à l'équilibre qui s'établit entre deux réactions contraires, on doit s'attendre à voir les conditions de cet équilibre se modifier, quand on ajoute au liquide un excès de l'un des produits de la réaction, par exemple d'acide chlorhydrique. Cette addition provoque, en effet, un retour progressif de la liqueur vers sa constitution primitive, jusqu'à un état d'équilibre nouveau.

J'ai pris une dissolution de perchlorure de fer, de concentration $\frac{1}{4987}$, présentant la résistance initiale

35510.

Au bout de soixante-dix-sept jours, sa résistance était devenue

19160.

Il fut mêlé alors dans un ballon de porcelaine avec un volume égal d'une dissolution chlorhydrique au $\frac{1}{13200}$, dont la résistance initiale était

26430.

Ce mélange fournit les résultats suivants :

Temps écoulés.	Résistances.
10 minutes	22920
133 »	23000
43 heures	23300
4 jours	23610
23 »	25100
39 »	25940

Il y a donc rétrogradation du liquide et reconstitution partielle du perchlorure décomposé.

Dans ce même intervalle de trente-neuf jours, la dissolution pure de perchlorure de fer employée à l'expérience avait continué à tendre vers sa limite. Sa résistance était tombée de

19160 à 18680.

L'addition de l'acide a donc réellement provoqué un phénomène contraire.

Une autre portion de ce mélange a été portée à 100° aussitôt après sa préparation. Cette portion, refroidie et abandonnée à elle-même, a donné :

Temps écoulés.	Résistances.
15 minutes.....	21530
150 »	21750
42 heures.....	22130
39 jours	25120

Ainsi l'application de la chaleur a d'abord provoqué une décomposition plus complète du chlorure, comme cela a lieu d'ordinaire; mais ensuite le liquide, ainsi modifié, est revenu plus vite que le premier vers sa limite. Leurs résistances tendent de nouveau à devenir égales.

D'autres expériences faites sur des dissolutions diversement concentrées ont donné des résultats analogues.

II. — Recherches sur divers autres chlorures.

Le phénomène que nous venons d'étudier en détail sur le perchlorure de fer se produit aussi sur un grand nombre de chlorures, notamment sur les chlorures à plusieurs équivalents de chlore.

Les expériences ont porté sur le *chlorure de sodium,* le *chlorure de magnésium,* le *chlorure d'aluminium,* le *chlorure double de rhodium et de sodium,* le *bichlorure de platine,* le *sesquichlorure d'or*. Nous renverrons au Mémoire original pour le détail des expériences.

En résumé, les phénomènes dont nous venons de faire l'étude s'étendent à des corps de formules variées. Ils paraissent affecter

principalement les chlorures à plusieurs équivalents de chlore. Les chlorures à un seul équivalent, notamment les chlorures alcalins, ne manifestent que des altérations faibles ou nulles, soit que leur constitution ne se prête pas au même dédoublement, soit que l'effet de cette altération soit trop rapidement détruit pendant le refroidissement, pour qu'on puisse l'observer.

Dans tous les cas où nous avons pu étudier cette altération, elle présente un caractère de réversibilité parfaitement net, sous l'influence de conditions contraires à celles qui l'ont produite. Elle se distingue ainsi des autres phénomènes qui la compliquent dans certains cas et qui donnent lieu à des précipitations non réversibles de matières insolubles.

La lumière joue un rôle important dans la décomposition de plusieurs de ces substances et leur donne une constitution nouvelle, qui, sans elle, ne serait atteinte que très lentement. Cette action préalable peut sans doute contribuer à rendre plus faciles et plus rapides certaines réactions chimiques de ces corps, quand on les fait agir ensuite sur des agents capables de les réduire même dans l'obscurité.

Sur une théorie des phénomènes pyro-électriques;

par P. Duhem.

Certains cristaux hémièdres s'électrisent quand on les chauffe; ce phénomène, observé depuis longtemps sur la tourmaline, a été l'objet, de la part d'un grand nombre de physiciens et en particulier de Gaugain, de très importantes recherches expérimentales. Dans ces dernières années, de nouvelles découvertes sont venues agrandir le champ des phénomènes pyro-électriques. MM. Curie ont montré que les cristaux qui s'électrisaient par la chaleur pouvaient aussi s'électriser par compression. MM. Friedel et Curie ont ensuite effectué sur ce sujet une série de travaux qui ont achevé de débrouiller cette question naguère si obscure. Tous ces travaux sont trop connus pour que j'aie besoin d'y insister. Ils sont

d'ailleurs exposés de la manière la plus nette dans le *Traité de Minéralogie* de M. Mallard

Gaugain avait cherché à rapprocher les phénomènes pyro-électriques des phénomènes thermo-électriques ; il avait même imaginé, en suivant cette idée, une expérience curieuse, décrite dans tous les Traités de Physique. Cette idée a depuis été à peu près abandonnée. C'est cette idée que j'ai reprise, que j'ai cherché à développer, et je demande à la Société de Physique la permission de résumer les résultats auxquels je suis parvenu (1).

Le point de départ de mes recherches a été la théorie des phénomènes thermo-électriques fondée par M. Clausius et par sir W. Thomson sur les principes de la Thermodynamique ; avant d'aborder le problème que je voulais étudier, j'ai dû reprendre la démonstration des formules auxquelles étaient parvenus ces deux illustres physiciens et donner à leur théorie une forme nouvelle ; mais je laisse de côté ces modifications légères pour arriver de suite à l'application de la théorie en question aux phénomènes pyro-électriques, que j'étudierai seulement sur des cristaux bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité.

1. Le fait fondamental qu'il s'agit d'expliquer est le suivant. Entre deux faces d'une plaque de tourmaline taillée normalement à l'axe d'hémiédrie de la substance, il n'existe aucune force électromotrice lorsque la plaque de tourmaline est en équilibre de température avec le milieu ambiant ; lorsque cet équilibre est rompu, il existe entre les deux faces de la tourmaline une force électromotrice qui change de signe suivant que la plaque s'échauffe ou se refroidit.

La théorie des phénomènes thermo-électriques nous montre que, pour qu'un conducteur conduisant l'électricité sans électrolyse possède une force électromotrice, il faut :

1° Que tous les points du conducteur ne soient pas à la même température ;

---

(1) *Applications de la Thermodynamique aux phénomènes thermo-électriques et pyro-électriques.* Ire Partie : *Phénomènes thermo-électriques* (*Annales de l'École Normale supérieure,* 3e série, t. II, p. 405. IIe Partie : *Phénomènes pyro-électriques* (*ibid.*, 3e série, t. III, p. 263).

2° Que la structure du conducteur ne soit pas homogène.

Nous ne serons pas embarrassés pour découvrir dans notre plaque de tourmaline des différences de température; si la tourmaline s'échauffe, l'extérieur est plus chaud que l'intérieur; si au contraire la tourmaline se refroidit, l'intérieur est plus chaud que l'extérieur. Mais comment la deuxième condition nécessaire de tout phénomène thermo-électrique, l'hétérogénéité du milieu, se trouve-t-elle remplie?

Nous voyons que, si l'on suppose la tourmaline homogène, on ne peut s'expliquer l'existence des phénomènes pyro-électriques, du moins dans la manière de voir que nous poursuivons ici, mais nous n'avons pas lieu de nous en étonner; l'expérience nous montre en effet qu'une étroite relation unit la pyro-électricité à la forme cristalline; or on ne peut pas davantage comprendre l'existence d'une forme cristalline pour un milieu rigoureusement homogène. Pour se rendre compte de la forme cristalline, Bravais, modifiant les idées d'Haüy, a dû attribuer aux milieux cristallisés une *structure réticulaire*. Voyons si cette conception de Bravais, qui a été, qui est encore si féconde en cristallographie, ne nous conduirait pas aussi, dans un ordre d'idées tout différent, à l'explication des phénomènes pyro-électriques.

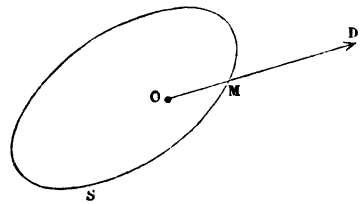
Nous imaginons donc un milieu ayant une structure réticulaire : la température de ce milieu varie d'un point à un autre; nous nous placerons dans l'hypothèse très simple où les surfaces isothermes sont des plans parallèles et nous nommerons *orientation* des surfaces isothermes la direction d'une demi-droite normale à ces surfaces et dirigée dans le sens où la température diminue.

Les principes de la Thermodynamique conduisent alors à cette conséquence fondamentale : si l'on prend deux surfaces isothermes très voisines, l'une à la température T, l'autre à la température $T + \delta T$, entre ces deux surfaces existe une force électromotrice $\rho\,\delta T$, ρ dépendant de la nature de la substance, de la température au point considéré, et, c'est là le point fondamental, de l'*orientation des surfaces isothermes*. Si, par exemple, nous renversons cette orientation, si la température, au lieu de croître de la gauche vers la droite, croît de la droite vers la gauche, ρ prendra une autre valeur ρ'.

A partir d'un point O (*fig.* 1), menons une demi-droite OD qui représente l'orientation d'une famille de plans isothermes. Sur cette droite, portons, à partir du point O, un rayon vecteur OM qui représente la valeur de ρ à la température T et pour cette orientation de plans isothermes. Pour chaque température T, le lieu des points M sera une surface fermée entourant le point O; c'est la *surface de pyro-électricité relative à la température* T.

Tout problème de pyro-électricité se ramène à la considération de la surface précédente.

Fig. 1.



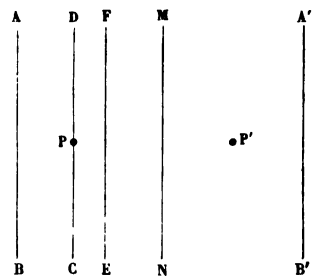
Prenons, par exemple, une lame de tourmaline à faces parallèles qui se refroidit. A l'intérieur de cette lame se trouve un plan MN, parallèle aux faces de la lame (*fig.* 2) qui, à l'instant t, possède une température T_1 plus élevée que la température d'un autre point quelconque de la lame. Les faces AB, A'B' de la lame sont à une même température T_0 inférieure à la température de tous les autres points de la lame.

Partons de la face de gauche AB et allons jusqu'au plan MN. Dans ce trajet toutes les surfaces isothermes que nous rencontrons ont la même orientation; elles sont toutes orientées de droite à gauche; en un quelconque des points P que nous rencontrons sur ce trajet, ρ a une valeur qui dépend uniquement de la température T au point P. Si nous menons un plan isotherme CD par le point P, et, à droite de ce plan, un autre plan isotherme EF correspondant à la température $(T + dT)$, entre le plan CD et le plan EF existera une force électromotrice $\rho(T)dT$. La force électromotrice qui existe entre la face AB et le plan MN aura alors pour valeur

$$\int_{T_0}^{T_1} \rho(T)dT..$$

Passons ensuite de la surface isotherme MN à la face A′B′; dans ce nouveau trajet nous rencontrons des surfaces isothermes qui ont toutes la même orientation; elles sont toutes orientées de la gauche vers la droite; mais cette orientation est inverse de celle que l'on rencontrait en passant de la face AB au plan MN. En un point P′, où la température a une valeur T, ρ a une valeur $\rho'(T)$, différente de $\rho(T)$. La force électromotrice qui existe entre le plan MN et la face A′B′ a pour valeur $\int_{T_1}^{T_0} \rho'(T)\,dT$. Il en résulte que la force

Fig. 2.



électromotrice qui existe entre les faces AB et A′B′ de la lame de tourmaline a pour valeur

$$\mathcal{E} = \int_{T_1}^{T_0} [\rho(T) - \rho'(T)]\,dT.$$

Si, comme il arrive en général dans la pratique, les deux températures T_0 et T_1 sont peu différentes, on pourra négliger la variation que subit la surface de pyro-électricité avec la température, et écrire simplement

$$\mathcal{E} = (\rho - \rho')(T_1 - T_0),$$

ρ et ρ' étant les valeurs de $\rho(T)$ et $\rho'(T)$ pour une température voisine de T_1 et de T_0.

De là la règle suivante :

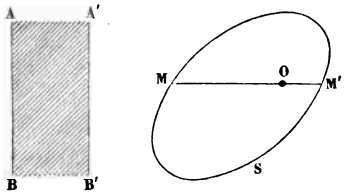
Pour connaître la force électromotrice d'une lame pyro-électrique AB, A′B′ (*fig.* 3), il faut tracer la surface de pyro-électricité S et par le point O, qui sert de pôle à cette surface, mener une normale aux faces AB, A′B′ de la lame. Cette normale rencontre la

surface S en deux points M et M'. En multipliant la différence des deux rayons vecteurs OM, OM', par la différence entre la température T_1 à l'intérieur de la lame et la température T_0 à l'extérieur, on aura la force électromotrice cherchée.

Cette règle conduit bien simplement aux lois fondamentales des phénomènes pyro-électriques: je veux indiquer seulement une application de cette règle.

Pour qu'un cristal donné, taillé en lame parallèle suivant une direction déterminée, présente des phénomènes pyro-électriques, il est nécessaire et suffisant que le point O ne soit pas le milieu de

Fig. 3.



la corde MM' de la surface de pyro-électricité normale aux faces de la lame. Donc, pour que dans un cristal donné il soit possible de tailler des lames à faces parallèles qui présentent des phénomènes pyro-électriques, il est nécessaire et suffisant que le point O ne soit point centre de la surface de pyro-électricité.

Or, l'ensemble de la surface de pyro-électricité et du point O forme une certaine figure, et cette figure présente au moins la même symétrie que la structure du milieu cristallin à l'intérieur de l'une des mailles du réseau. D'autre part, on est naturellement porté à supposer, au moins comme première approximation, que la surface de pyro-électricité a la forme d'un ellipsoïde. Si l'on fait cette hypothèse, voici comment peut s'énoncer la condition pour qu'un cristal déterminé soit pyro-électrique : il faut que la structure interne de la maille du réseau n'admette pas de centre et ait au plus un axe de symétrie. C'est la règle à laquelle M. Mallard est parvenu d'une manière différente; cette règle résume toutes les observations de MM. Friedel et Curie.

Un cristal non compris dans la règle précédente ne peut manifester de phénomènes pyro-électriques que si les déformations altèrent la symétrie naturelle de sa structure.

2. Ces altérations de symétrie jouent un rôle important dans l'étude de la *piézo-électricité,* c'est-à-dire de l'électrisation par compression de certains cristaux, phénomène étudié par M. Curie.

Supposons tout d'abord qu'on étudie une lame d'un cristal naturellement pyro-électrique, par exemple une lame de tourmaline taillée normalement à l'axe. Si l'on comprime brusquement cette lame, il résulte du principe de Carnot qu'elle va s'échauffer à l'instant même, car son coefficient de dilatation est positif. Une fois la compression brusque opérée, si l'on abandonne à elle-même cette lame comprimée et plus chaude que le milieu environnant, elle va se refroidir et manifester les mêmes phénomènes pyro-électriques qu'une tourmaline soumise à un refroidissement. Au contraire, cette tourmaline étant ramenée à l'état neutre, si on la détend brusquement, ce qui la refroidira, puis si on l'abandonne à elle-même, elle va se réchauffer aux dépens du milieu environnant et manifester les mêmes phénomènes qu'une tourmaline qui s'échauffe. C'est précisément ce que nous ont appris les expériences de MM. Curie. Les phénomènes seraient renversés, comme l'ont prévu MM. Curie, pour les cristaux dont le coefficient de dilatation suivant l'axe d'hémiédrie serait négatif.

On peut constater la piézo-électricité dans des cristaux, comme le quartz, qui ne sont pas naturellement pyro-électriques. La pression joue alors un double rôle. Elle rend le cristal pyro-électrique en le déformant et sert en outre à l'échauffer ou à le refroidir.

En suivant l'ordre d'idée que j'indique seulement ici d'une manière générale, on peut expliquer les principales particularités des phénomènes piézo-électriques. Je ne veux point m'attarder ici à l'examen de ces particularités. Je ne m'occuperai plus que d'un seul phénomène qui se rattache aux précédents.

MM. Curie ayant montré que la compression pouvait électriser certains cristaux hémièdres, M. G. Lippmann indiqua que l'électrisation des mêmes cristaux devait faire varier leurs dimensions. MM. Curie ont vérifié par l'expérience cette loi de réciprocité. Voici comment elle s'interprète dans notre manière de voir.

Lorsqu'on maintient à des niveaux potentiels différents les deux faces d'une tourmaline, la température ne garde pas la même valeur en tous les points du cristal; pour que l'équilibre s'établisse il faut que la température prenne dans les parties centrales de la tourmaline, suivant le signe de la différence de niveau potentiel,

une valeur supérieure ou inférieure à celle de la température du milieu ambiant qui était aussi la température initiale du cristal. Par suite de cette variation de température, la tourmaline se dilate ou se contracte, et il est facile de voir que cette dilatation ou cette contraction satisfait en toute occurrence à la loi de réciprocité signalée par M. Lippmann.

Mais, par quel mécanisme s'établit et se maintient cet équilibre dans lequel les diverses parties de la tourmaline ont des températures différentes? Il est facile de s'en rendre compte. Supposons que, cet équilibre étant tout d'abord établi, la distribution de températures par laquelle il est assuré vienne à subir une perturbation infiniment petite; l'équilibre est rompu, un courant infiniment faible prend naissance à l'intérieur de la tourmaline. La quantité de chaleur que ce courant dégage conformément à la loi de Joule est proportionnelle au carré de son intensité; c'est un infiniment petit du second ordre qui doit être négligé; mais, dans l'intérieur du réseau, se produisent des phénomènes thermiques proportionnels à l'intensité du courant, changeant de signe lorsque cette intensité change de sens, et analogues à ceux que Peltier et Sir W. Thomson ont signalé dans les circuits métalliques. Les premiers phénomènes sont liés aux forces électromotrices de pyro-électricité comme les phénomènes de Peltier et de Sir W. Thomson sont liés aux forces électromotrices de thermo-électricité. Cette relation permet de démontrer que le phénomène thermique ainsi produit rétablira aussitôt l'équilibre un instant troublé et en assurera la stabilité.

Telle est, dans ses traits généraux, la théorie que je désirais soumettre à la Société de Physique. On voit que, d'après cette théorie, les phénomènes piézo-électriques ne sont autre chose que des phénomènes pyro-électriques dans lesquels la lame cristalline est échauffée par compression; que les phénomènes pyro-électriques ne sont eux-mêmes que des phénomènes thermo-électriques produits dans des conducteurs dont le manque d'homogénéité est dû à leur structure réticulaire; que, par conséquent, si cette théorie est exacte, ces trois chapitres de la Physique : Thermo-électricité, Pyro-électricité et Piézo-électricité se trouvent réunis en un seul que la Thermodynamique permet de traiter d'une manière entièrement rationnelle.

SÉANCE DU 18 MARS 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 4 mars est lu et adopté.

M. Gernez expose ses recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude de certains composés qui se produisent dans les solutions d'acide tartrique.

Biot avait reconnu que l'acide borique, bien que dénué d'action sur la lumière polarisée, peut cependant changer la loi de dispersion des plans de polarisation que présentent les solutions aqueuses d'acide tartrique droit, et rendre jusqu'à quatre fois plus grand le pouvoir rotatoire de cette substance, et M. Pasteur a trouvé que l'acide tartrique gauche et les acides maliques éprouvent les mêmes effets. Biot avait été conduit par ses mesures à admettre l'existence de « combinaisons moléculaires en proportions continûment variables qui s'opèrent invisiblement dans des milieux liquides, sans qu'aucune de leurs parties se sépare de l'ensemble ». Il y avait là sans aucun doute un phénomène de dissociation, que l'on pouvait peut-être éviter en employant des solutions convenables.

M. Gernez a d'abord reconnu qu'une foule de substances agissaient comme l'acide borique sur l'acide tartrique; tels sont les composés de la classe des amides : formamide, acétamide, urée, etc.; des acides, tels que les acides arsénique, arsénieux, molybdique et antimonique; des sels, tels que les arséniates, les molybdates et les tungstates alcalins. M. Gernez a étudié en particulier le molybdate de soude et le molybdate d'ammoniaque qui peuvent rendre le pouvoir rotatoire d'une dissolution d'acide tartrique, le premier trente-cinq fois, le second cinquante fois plus grand.

Si, à l'aide d'un tube de longueur déterminée, on mesure la rotation produite par une solution contenant un équivalent d'acide tartrique et à laquelle on ajoute des quantités croissantes de molybdate de soude, on trouve que la rotation augmente de quantités sensiblement proportionnelles aux quantités de sel ajoutées, jusqu'à ce que la liqueur en renferme juste un équivalent; de nouvelles additions de molybdate de soude diminuent, mais seulement dans de très faibles proportions, le pouvoir rotatoire.

Ces résultats conduisent à l'interprétation suivante :

Lorsque l'acide tartrique et le molybdate de soude se trouvent dans la solution à équivalents égaux, il y a formation d'une substance dont le pouvoir rotatoire est, à la température de 17 degrés, 37,57 fois celui de l'acide tartrique; la combinaison formée aurait pour composition

$$C^8H^6O^{12}, NaOMoO^3$$

et serait assez stable pour persister en présence d'un grand excès de molybdate de soude.

L'étude du molybdate d'ammoniaque met en évidence l'existence d'un composé analogue renfermant non pas un équivalent de ce sel, dont la formule est plus compliquée que celle du molybdate de soude, mais un équivalent d'ammoniaque.

Ces recherches ont été faites à l'aide de l'appareil à pénombres de M. Laurent et les rotations sont relatives à la lumière sensiblement monochromatique du sodium. Au lieu de se servir des tubes classiques en verre épais montés dans une enveloppe de laiton facilement attaquée par les acides et qui, outre leur prix élevé, ont l'inconvénient de ne pas laisser le liquide prendre facilement la température ambiante, M. Gernez a employé des tubes de verre mince présentant à leurs extrémités un rebord contre lequel s'appuie un disque de glace maintenu par une simple bague en caoutchouc.

M. Leduc a étudié expérimentalement la période variable d'un courant lancé dans le circuit d'un électro-aimant de Faraday de grandes dimensions. Puis il a confronté les résultats obtenus avec ceux qu'indique la théorie dans certains cas simples.

M. Leduc rappelle que, si la distance des surfaces polaires ne dépasse pas $0^m,01$, la valeur du champ entre celles-ci peut être représentée à 1 ou 2 pour 100 près par l'une ou l'autre des formules

$$F = mI, \tag{1}$$

$$F = \frac{mI}{1 + \mu I}, \tag{2}$$

suivant que le courant I est inférieur ou supérieur à 3 ampères.

Il montre que, si l'on se borne à ces deux cas et *s'il est permis de négliger :*

1° Les courants induits dans les noyaux de fer;
2° Le retard dans l'aimantation;
3° Le magnétisme rémanent,

la période variable devra être représentée par l'une ou l'autre des équations

$$t = \frac{Sm}{R} L.n \tag{3}$$

ou

$$t = \frac{Sm}{R(1 + \mu I)^2} L[n + \mu I(n - 1)] + \frac{S\mu}{R(1 + \mu I)} \frac{mi}{1 + \mu i}, \tag{4}$$

dans lesquelles $\frac{1}{n} = 1 - \frac{i}{I}$; S désigne la surface totale embrassée par les spires des bobines, et R la résistance totale du circuit.

Le renversement du courant opéré au moyen d'un commutateur qui n'altère pas sensiblement la résistance R serait représenté par les formules

$$(5)\ t = \frac{Sm}{R}\,L.2n,$$

$$(6)\ t = \frac{Sm}{R(1+\mu I)^2}\,L.\,\frac{2}{1-\mu I}\,[n+\mu I(n-1)] + \frac{S\mu m^2}{R(1-\mu^2 I)}\,\frac{I+i}{1+\mu i}.$$

Après avoir exposé la méthode qu'il a suivie, M. Leduc compare les courbes expérimentales avec celles que représentent les équations ci-dessus. Il conclut de cette comparaison, en général peu satisfaisante, faite sur un grand nombre de cas, qu'il y a un retard considérable dans l'aimantation attribuable aux courants induits dans le fer.

Les courbes expérimentales relatives au renversement du courant se divisent toujours en deux parties bien représentées par des équations de la forme

$$t = A.L.n \pm \theta,$$

qui se raccordent directement pour $n = 4$ environ, sauf dans le cas où les surfaces polaires sont en contact; ces deux courbes sont raccordées alors par une troisième qui présente deux inflexions. Cette forme très particulière est en connexion avec le magnétisme rémanent considérable qui se développe lorsque les pièces polaires sont amenées au contact.

M. Leduc compte reprendre l'étude méthodique de ce phénomène sur un électro-aimant dont les noyaux seront formés de fils de fer isolés. Il espère que les hypothèses faites ci-dessus seront alors assez bien fondées.

M. le Dr Hénocque expose les principes de sa méthode d'*Hématoscopie*. Basée sur l'emploi du spectroscope, cette nouvelle méthode d'analyse du sang comprend deux séries d'observations principales :

1° La détermination de la quantité d'oxyhémoglobine ou matière colorante active du sang, au moyen d'instruments appelés *hématoscopes* et *hématospectroscopes*.

2° L'évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine par l'examen spectroscopique à travers l'ongle du pouce.

Le rapport entre ces deux données sert à mesurer l'activité de la réduction de l'hémoglobine, c'est-à-dire l'énergie de l'échange de l'oxygène entre le sang et les tissus.

Le dosage de l'oxyhémoglobine s'effectue à l'aide de l'hématoscope, sorte de cuvette prismatique capillaire qui permet d'examiner, avec le spectroscope, le sang pur et non dilué sous des épaisseurs progressives et déterminées par une échelle millimétrique tracée sur le verre. On déduit la quantité d'oxyhémoglobine de l'épaisseur à laquelle on observe ses deux

bandes caractéristiques, également obscures. C'est un procédé photométrique qui ramène le dosage de l'oxyhémoglobine à une expression métrique de l'épaisseur du sang observé.

L'évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine est faite en examinant, avec un spectroscope à vision directe et à la lumière solaire, le sang à travers l'ongle du pouce. Normalement, on perçoit ainsi la première bande caractéristique de l'oxyhémoglobine avec netteté. Si l'on fait une ligature autour de la phalange, cette bande s'efface peu à peu pour disparaître complètement. La durée de la réduction est le temps qui s'écoule à partir de l'application de la ligature jusqu'à la disparition complète de la bande; la durée moyenne est de soixante secondes à l'état de santé et de repos.

L'évaluation de l'activité de réduction de l'hémoglobine ou énergie des échanges entre le sang et les tissus se calcule par la formule suivante

$$\text{activité de réduction ou } \varepsilon = \frac{\text{quantité d'oxyhémoglobine}}{\text{durée de réduction}} \times 5.$$

L'unité est la quantité centésimale de l'oxyhémoglobine réduite normalement dans le pouce d'un homme possédant 14 pour 100 d'oxyhémoglobine, en l'espace d'une seconde.

M. le Dr Hénocque présente les appareils servant à ces mesures : 1° l'hématoscope, instrument de précision gradué et vérifié par un procédé photographique, qui, avec un spectroscope à vision directe, suffit à l'analyse qualitative ou quantitative de l'hémoglobine et de ses modifications; 2° les hématospectroscopes dont deux modèles, construits par M. Lutz, sont disposés pour la démonstration et l'étude la plus rigoureuse des phénomènes spectroscopiques du sang; 3° l'hématospectroscope double à fente unique permettant à deux personnes d'observer en même temps ces phénomènes et de contrôler leurs appréciations individuelles.

Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude de certains composés qui se produisent dans les solutions d'acide tartrique; par M. D. Gernez.

Après de longues années d'études persévérantes sur le pouvoir rotatoire des liquides et sur les applications que l'on peut faire de cette propriété aux « recherches de Mécanique chimique », Biot avait reconnu que l'acide borique [1], bien que dénué

[1] *Mémoires de l'Academie des Sciences,* t. XVI, p. 259 (1837).

d'action sur la lumière polarisée, à l'état solide ou en solution aqueuse, peut faire éprouver aux solutions d'acide tartrique droit des changements perceptibles seulement aux épreuves optiques; il montra que ces changements se traduisent : 1° par la disparition des anomalies que présente la dispersion des plans de polarisation pour les rayons diversement colorés qui traversent les solutions tartriques; 2° par une augmentation notable du pouvoir rotatoire de ces solutions, pouvoir rotatoire qui peut être rendu jusqu'à quatre fois plus grand pour une quantité convenable d'acide borique.

L'acide tartrique gauche, découvert en 1849 par M. Pasteur (1), manifesta les mêmes propriétés, et, plus tard, M. Pasteur (2) trouva que l'acide borique produit sur les acides maliques des actions analogues.

Les lois suivant lesquelles varie le pouvoir rotatoire dans ces mélanges complexes ont été, de la part de Biot, l'objet de longues et patientes recherches qu'il poursuivit jusque dans ses dernières années; les mesures qu'il effectua sur des solutions de composition variable l'ont conduit à admettre l'existence de « combinaisons moléculaires en proportions continûment variables qui s'opèrent invisiblement dans des milieux liquides, sans qu'aucune de leurs parties se sépare de l'ensemble (3) ».

Il m'a paru intéressant de chercher s'il n'y aurait pas moyen d'élucider cette question de l'existence de combinaisons chimiques en proportions continûment variables, par une étude analogue à celle de Biot appliquée à des solutions dans lesquelles des effets de dissociation risquaient moins de masquer le phénomène principal.

Des expériences préliminaires m'ont conduit à reconnaître qu'il est des substances sans action propre sur la lumière polarisée et qui ont, comme l'acide borique, la propriété de faire disparaître les anomalies de la loi de dispersion des acides tartrique et malique et d'augmenter la valeur absolue de leur pouvoir rotatoire dans des proportions tout à fait inattendues; tels sont les com-

---

(1) *Annales de Chimie et de Physique,* 3e série, t. XXVIII, p. 108.
(2) *Ibid.*, t. LIX, p. 244.
(3) *Ibid.*, p. 206 (1860).

posés de la classe des amides : formamide, acétamide, urée, etc.; des acides, tels que les acides arsénique, arsénieux, molybdique et antimonique; des sels, tels que les arséniates, les molybdates et les tungstates alcalins. C'est ainsi, par exemple, que le molybdate de soude, ajouté à une solution aqueuse d'acide tartrique, peut rendre son pouvoir rotatoire plus de trente-cinq fois plus grand et le molybdate d'ammoniaque plus de cinquante fois plus grand. Cette augmentation du pouvoir rotatoire, qui est variable avec le temps, lorsqu'il s'agit de l'acide arsénique, est définitive dès les premiers instants lorsqu'on emploie les molybdates alcalins. Ce sont surtout ces composés que j'ai employés pour l'étude que j'avais en vue : la grandeur des quantités à mesurer, la précision avec laquelle l'appareil à pénombres de M. Laurent se prête aux mesures des pouvoirs rotatoires pour la lumière sensiblement monochromatique du sodium, une légère modification que j'ai apportée à la disposition des tubes qui reçoivent les liquides [1], enfin la grande solubilité des molybdates alcalins dans les solutions aqueuses d'acide tartrique m'ont permis de réaliser assez facilement des expériences précises jusqu'aux limites où leur discussion présente de l'intérêt.

Pour rendre plus facile l'interprétation des résultats et simplifier les calculs, j'ai préparé des séries de dissolutions qui, pour une quantité constante d'acide tartrique droit, contiennent, sous le même volume et à la même température, des quantités de l'autre substance représentant, par rapport au poids employé d'acide tartrique, des fractions simples et graduellement croissantes d'équivalent du corps inactif.

Le Tableau suivant comprend les résultats d'une série d'expériences effectuées à la température de 17° sur des solutions contenant toutes $1^{gr},250$ d'acide tartrique droit, additionnées de quantités croissantes de molybdate de soude, depuis $\frac{1}{24}$ d'équi-

---

[1] Au lieu de faire usage des tubes classiques en verre épais montés dans une enveloppe de laiton facilement attaquée par les acides et qui, outre leur prix élevé, ont l'inconvénient de ne pas laisser le liquide prendre facilement la température ambiante, j'ai employé des tubes de verre mince présentant à leurs extrémités un rebord contre lequel s'appuie un disque de glace maintenu par une simple bague en caoutchouc.

valent jusqu'à $7^{éq}$, et d'eau distillée en quantité telle que les volumes des divers liquides étaient amenés à 50^{cc}. Les rotations ont été observées à l'aide d'un tube dont la longueur est de $105^{mm},7$. La solution d'acide tartrique sans addition de molybdate de soude présentait une rotation de $0°21'$.

Quantités de molybdate de soude.	Rotations.	Équivalents de ce sel pour $1^{éq}$ d'acide tartrique.	Différences des rotations.
gr	° ′		′
0,084.....	0.50	$\frac{1}{24}$	29
0,168.....	1.21	$\frac{1}{12}$	31
0,336.....	2.22	$\frac{2}{12}$	61
0,504.....	3.23	$\frac{3}{12}$	61
0,672.....	4.25	$\frac{4}{12}$	62
0,840.....	5.26	$\frac{5}{12}$	61
1,008.....	6.26	$\frac{6}{12}$	60
1,176.....	7.37	$\frac{7}{12}$	71
1,344.....	8.49	$\frac{8}{12}$	72
1,512.....	10. 8	$\frac{9}{12}$	79
1,680.....	11.30	$\frac{10}{12}$	82
1,849.....	12.39	$\frac{11}{12}$	69
2,017.....	13.39	$\frac{12}{12} = 1$	—60
2,187.....	13.33	$\frac{13}{12}$	— 6
2,353.....	13.33	$\frac{14}{12}$	0
2,521.....	13.31	$\frac{15}{12}$	— 2
3,024.....	13.21	$\frac{18}{12} = 1,5$	—10
4,033.....	13.11	2,0	—10
5,042.....	12.57	2,5	—14
6,048.....	12.44	3,0	—13
8,066.....	12.30	4,0	—14
10,084.....	12. 1	5,0	—29
12,100.....	11.45	6,0	—16
14,117.....	11.10	7,0	—25

L'inspection de ces nombres conduit à l'interprétation suivante :

1° Lorsque l'acide tartrique et le molybdate de soude se trouvent dans la solution à équivalents égaux, il y a formation d'une substance dont le pouvoir rotatoire est de 37,57 fois celui de l'acide

tartrique ; la combinaison formée aurait pour composition

$$C^8H^6O^{12}, NaOMoO^3.$$

2° On s'explique alors facilement que, dans les solutions qui, pour le même poids d'acide tartrique, contiennent moins de molybdate de soude, l'augmentation de la rotation soit rigoureusement proportionnelle au poids de la substance inactive ajoutée jusqu'à ce que la solution contienne $\frac{1}{2}$ équivalent, et à peine plus grande au delà jusqu'à $1^{éq}$.

3° L'addition de molybdate de soude à la solution qui contient déjà équivalents égaux des deux substances produit des effets à peine appréciables, même pour une addition de $\frac{1}{2}$ équivalent, et très faible lorsqu'on introduit dans le même volume de liquide jusqu'à $7^{éq}$ de molybdate de soude. On peut admettre que la combinaison produite est assez stable pour persister dans ces conditions.

J'indiquerai ultérieurement les résultats de mes expériences sur d'autres substances.

Sur la période variable d'un courant dans le circuit d'un électro-aimant de Faraday (1); par M. A. Leduc.

On sait, depuis Faraday, qu'un courant lancé dans le circuit d'un fort électro-aimant croît avec une lenteur telle qu'il est facile d'en suivre l'établissement, soit en observant la rotation progressive du plan de polarisation dans les expériences classiques que l'on répète au moyen de l'électro-aimant de Faraday, soit en plaçant sur le circuit un galvanomètre apériodique convenable.

Dans le cas simple où l'aimantation peut être considérée comme proportionnelle à l'intensité du courant, c'est-à-dire dans les limites où le coefficient L de self-induction demeure sensiblement

---

(1) Voir *Journal de Physique*, avril 1887 (*Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, séance du 31 janvier 1887).

constant, on est porté à admettre, pour représenter l'intensité du courant à chaque instant de la période variable, la formule établie en toute rigueur dans le cas d'une bobine sans fer

$$(1) \qquad i = I\left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right),$$

dans laquelle i désigne l'intensité du courant au temps t, I son intensité définitive, et R la résistance totale du circuit.

Posons

$$\frac{1}{n} = 1 - \frac{i}{I},$$

et désignons par S la surface totale embrassée par les bobines de l'électro-aimant, par F la valeur moyenne de la force magnétique à leur intérieur, et par m le rapport constant $\frac{F}{I}$. La formule (1) peut alors s'écrire

$$(2) \qquad t = \frac{Sm}{R} L n.$$

Or cette formule n'est jamais vérifiée d'une manière satisfaisante en ce qui concerne le gros électro-aimant de Faraday dont nous avons fait usage maintes fois.

Si l'on donne à n une certaine valeur fixe, et si l'on fait varier proportionnellement la force électromotrice E de la pile et la résistance R, on voit que, d'après cette formule (2), le temps t doit varier en raison inverse de R. Cette conséquence ne se trouve à peu près vérifiée que pour $n = 4$ environ. Ainsi, pour doubler la valeur de t avec $n = 100$, il a fallu tripler dans un cas et quadrupler dans un autre la résistance totale du circuit.

Pour bien comprendre à quoi tiennent les écarts considérables constatés entre les résultats d'expériences et ceux que l'on déduit de la formule ci-dessus, il est bon de faire ressortir les restrictions que l'on est obligé de faire en établissant cette dernière.

Si l'on désigne par φ le flux de force total qui traverse le circuit au temps t, ($\Phi = SF$), il est clair que la force électromotrice de l'extra-courant de fermeture est à cet instant $\frac{d\varphi}{dt}$. Si donc nous ne tenons pas compte des *courants induits dans les noyaux de fer* des bobines (courants qui seraient sans doute négligeables, en

effet, si les noyaux étaient en fils de fer isolés), nous pouvons écrire l'équation différentielle suivante :

$$E i\,dt = R i^2\,dt + \frac{d\varphi}{dt} i\,dt$$

ou

$$(3) \qquad (E - R i)\,dt = d\varphi.$$

L'intégration de cette équation exige que l'on connaisse l'expression de φ en fonction de i. Cette intégration ne sera possible d'ailleurs que dans quelques cas simples.

Admettons provisoirement qu'il n'y ait pas de *retard dans l'aimantation,* c'est-à-dire que le flux de force ait à chaque instant la valeur qu'il prendrait à l'état permanent sous l'influence du courant d'intensité i qui circule actuellement dans les bobines. L'expérience nous a montré [1] que pour des valeurs de I inférieures à 3 ampères, on peut représenter à 1 ou 2 pour 100 près la valeur du champ entre les surfaces polaires par la formule simple

$$(4) \qquad F = mI,$$

et pour des valeurs plus grandes de la force magnétisante, par la formule de M. Frœlich

$$(5) \qquad F = \frac{mI}{1 + \mu I},$$

à la condition que la distance des surfaces polaires ne dépasse pas 1^{cm}.

Adopter cette dernière formule dont la précédente n'est qu'un cas particulier ($\mu = 0$), c'est admettre encore que, pour $I = 0$, on a

$$\varphi = 0,$$

c'est-à-dire qu'*il n'y a pas de magnétisme rémanent.*

Grâce aux trois hypothèses que nous venons de faire, notre équation (3) devient

$$(E - R i)\,dt = d\left(\frac{S m i}{1 + \mu i}\right)$$

---

[1] Voir *Journal de Physique,* avril 1887; *Comptes rendus,* 15 novembre 1886.

ou

$$(6) \qquad \frac{1}{Sm}\,dt = \frac{di}{(E - Ri)(1 + \mu i)^2}.$$

Cette équation intégrée entre o et t donne

$$(7) \qquad t = AL[n + \mu I(n - 1)] + BF_i.$$

Si l'on pose

$$F_i = \frac{mi}{1 + \mu i},$$

$$A = \frac{Sm}{R(1 + \mu I)^2} \qquad \text{et} \qquad B = \frac{S\mu}{R(1 + \mu I)}.$$

Dans le cas particulier où $\mu = 0$ on retrouve bien la formule (2).

Considérons maintenant le renversement du courant effectué au moyen d'un commutateur, tel que la résistance R du circuit de l'électro-aimant ne soit pas sensiblement altérée pendant la manipulation. Il suffira, pour obtenir la formule représentative de l'état variable, d'intégrer le deuxième membre de l'équation (6) entre $-I$ et $+i$, ce qui donne

$$(8) \quad t = \frac{Sm}{R(1 + \mu I)^2} L \frac{2}{1 + \mu I}[n + \mu I(n - 1)] + \frac{S\mu m^2}{R(1 - \mu^2 I^2)} \frac{I + i}{1 + \mu I}$$

et, dans le cas particulier où $\mu = 0$,

$$(9) \qquad t = \frac{Sm}{R} L 2n.$$

L'équation (9) exprime que les extra-courants de rupture et de fermeture se superposent et ont à chaque instant la même intensité, bien que celui de fermeture ne commence qu'au moment où le courant change effectivement de direction, c'est-à-dire un certain temps après la manipulation.

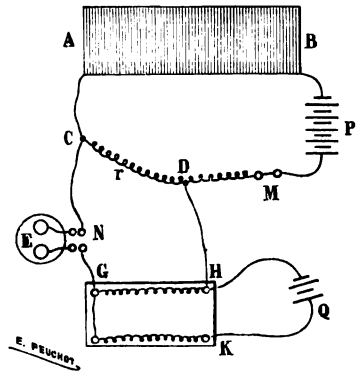
Les seconds membres des équations (2) et (9) ne diffèrent que par une constante. Les courbes qu'elles représentent sont donc parallèles, tandis que les courbes expérimentales qui leur correspondent ne le sont pas.

Il ne faut pas perdre de vue que les formules relatives au renversement du courant reposent, comme les précédentes, sur nos

deux premières hypothèses. Elles sont, du moins en apparence, indépendantes de la force coercitive. La confrontation de ces formules avec les données expérimentales, très intéressantes en elles-mêmes, aura l'avantage de nous montrer jusqu'à quel point ces hypothèses sont bien fondées.

Expériences. — Le courant de la pile P (*fig.* 1) est lancé

Fig. 1.



dans le circuit de l'électro-aimant AB, ou bien est inversé au moyen d'un manipulateur M. La différence de potentiel e produite entre les points C et D séparés par une résistance r ($e = ir$), peut être compensée par une différence égale obtenue au moyen d'une pile de Daniell Q et d'une boîte de résistances étalonnées. Un électromètre capillaire E que l'on peut intercaler à un moment donné dans la branche CG (toujours ouverte) au moyen d'un second manipulateur N, permet de constater que la compensation est obtenue exactement. On arrive à ce résultat après quelques tâtonnements en modifiant peu à peu la résistance GH.

Il est alors facile de suivre de demi-seconde en demi-seconde, par exemple, l'établissement du courant. Il suffit, en effet, de compter successivement à l'aide d'un métronome une, deux, trois, etc. demi-secondes, à partir du moment où l'on a lancé ou renversé le courant, et d'obtenir au bout de ce temps l'équilibre momentané de l'électromètre.

J'ai fait ainsi un grand nombre d'expériences sur notre électro-

aimant de Faraday et modifié successivement la distance des surfaces polaires, l'intensité du courant et la résistance totale R.

Considérons, par exemple, le cas où les surfaces polaires sont distantes de $0^{cm},5$, et où le courant I produit par 2 éléments de Bunsen vaut environ $1^{amp},65$ ($R = 2^{ohms},4$ environ).

Des expériences directes m'ont montré que la valeur du champ en son milieu est bien représentée en pareil cas par la formule

$$F = mI, \tag{4}$$

avec $m = 26300$ (système C.G.S.).

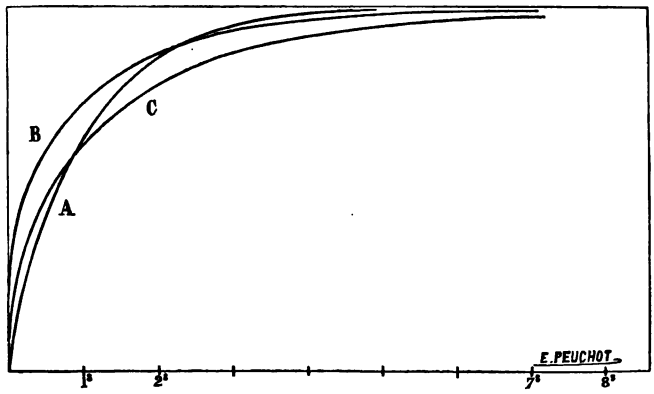
J'ai été conduit d'ailleurs à admettre pour la surface S la valeur 96000^{cmq}.

D'après ces données, l'établissement du courant serait représenté par la formule

$$t = 1,05 \, L n,$$

qui correspond à la courbe A de la *fig.* 2.

Fig. 2.



Notre électro-aimant n'est pas dépourvu de force coercitive. Il importe donc de lancer le courant toujours dans la même direction ou bien alternativement en sens contraires. Dans le premier cas, le magnétisme rémanent favorise l'établissement du courant; il s'y oppose dans le second. Les résultats obtenus sont représentés par les courbes B et C. La courbe unique que l'on obtiendrait si le fer de l'électro-aimant était parfaitement doux serait évidemment intermédiaire entre B et C.

On voit sur la *fig.* 2 que cette courbe moyenne, que nous appellerons D, s'élève d'abord beaucoup plus vite que la courbe calculée A, coupe celle-ci en un point qui correspond à peu près à $n = 4$ $\left(\text{soit } \frac{i}{I} = 0{,}75\right)$ et reste ensuite au-dessous d'elle.

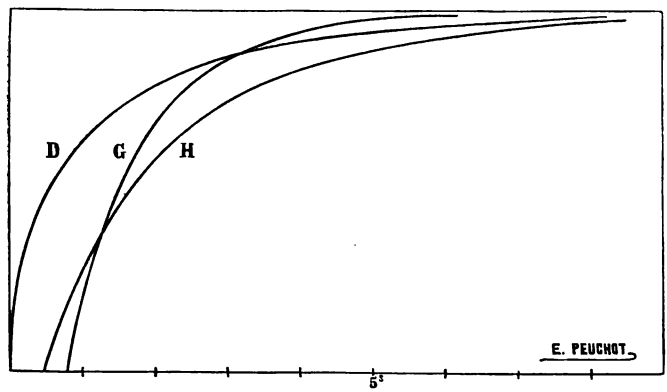
Ce résultat s'explique très bien par l'existence d'un retard dans l'aimantation, dont on peut voir la cause dans les courants induits qui se développent dans le fer et qui tendent en effet à gêner l'aimantation. La pile n'effectue pas dès le début tout le travail de l'aimantation que nous l'avons supposée opérer, de sorte que le courant prend une certaine avance, qu'il perd bientôt parce qu'il doit produire à chaque instant un travail en quelque sorte arriéré, supérieur à notre estimation $\left(\text{ce travail est proportionnel à } \frac{d\varphi}{dt} \text{ qui décroît sans cesse}\right)$.

Les mêmes observations s'appliquent au renversement du courant. Les courbes de la *fig.* 3 représentent l'une (G) la formule

$$t = 1{,}05\, L\, 2\, n,$$

l'autre (H) les résultats de l'expérience.

Fig. 3.



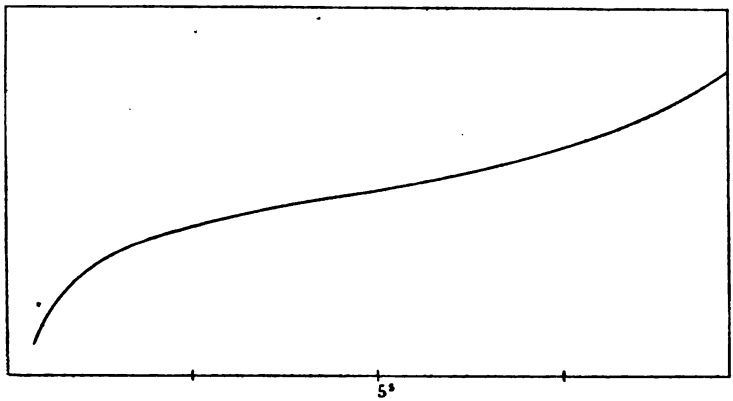
On voit qu'il y a entre elles le même rapport qu'entre les courbes A et D de la *fig.* 2.

Résultats généraux. — Toutes les fois que les pièces polaires sont séparées par une couche d'air, les courbes expérimentales

affectent, comme nous venons de le voir, la même forme que les courbes calculées. Il en est encore ainsi lorsque les pièces polaires sont au contact pour les courbes obtenues en lançant le courant toujours dans le même sens; mais les courbes qui représentent soit l'établissement du courant avec changement de sens, soit le renversement de ce courant au moyen d'un commutateur convenable, ont un tout autre aspect. Elles se composent de deux parties qui sont bien représentées par deux équations de la forme

$$t = \mathrm{AL}\,n \pm \theta,$$

Fig. 4.



raccordées par une courbe à double inflexion. Cette forme très remarquable doit être, selon toute apparence, en rapport intime avec la valeur très considérable du magnétisme rémanent que l'on constate en pareil cas. On suivra aisément sur le Tableau suivant la marche d'une expérience relative au renversement d'un courant égal à $1^{\mathrm{amp}},7$ (fourni par 2 éléments de Bunsen).

t.	$\frac{i}{\mathrm{I}}$.	$\frac{\log n}{t+3,2}$.	t.	$\frac{i}{\mathrm{I}}$.	$\frac{\log n}{t-7,5}$.
0,5...	0,162	»	7...	0,595	»
1.....	0,277	0,0335	8...	0,658	»
2.....	0,366	0,0380	9...	0,741	»
3.....	0,417	0,0378	10...	0,868	0,335
4.....	0,465	0,0377	11...	0,931	0,337
5.....	0,511	0,0379	12...	0,967	0,334
6.....	0,550	0,0377	13...	0,985	0,335

Cette même expérience est traduite par la *fig.* 4.

Citons encore une expérience relative au renversement du courant fourni par 4 éléments de Bunsen ($I = 3^{amp},04$) et dans laquelle les surfaces polaires étaient distantes de $0^{cm},5$. La courbe expérimentale peut encore se décomposer en 2 parties qui sont bien représentées par deux équations de la forme

$$t = \mathrm{AL}\,n \pm \theta,$$

raccordées cette fois sans inflexion :

t.	$\frac{i}{I}$.	$\log n$.	$\frac{\log n}{t - 0,4}$.	$\frac{\log n}{t + 0,2}$.
0,5	0,064	0,0287	0,287	»
1	0,348	0,1858	0,309	»
1,5	0,522	0,3206	0,291	»
2	0,655	0,4622	0,289	0,210
3	0,799	0,6968	0,267	0,217
4	0,879	0,9172	»	0,218
5	0,918	1,0862	»	0,209
6	0,950	1,3010	»	0,210
7	0,969	1,5086	»	0,210
8	0,981	1,7213	»	0,210

Nous allons indiquer, en terminant, sous forme de Tableau, comment a varié, avec la distance D des surfaces polaires et le nombre N des éléments de Bunsen qui servaient à produire le courant, le temps t nécessaire au rétablissement du courant à 1 pour 100 près, après renversement (la résistance extérieure à la pile est constante et égale à $2^{ohms},2$ environ).

	N = 1.	2.	4.	8.
	$I = 0^{amp},87$.	$1^{amp},7$.	$3^{amp},1$.	$5^{amp},2$.
D = cm	s	s	s	s
0	29	13,53	7,43	4,50
0,25	»	15,30	»	»
0,5	»	11,08	9,32	4,93
1	»	7,74	7,70	5,30
2	»	5,87	5,56	4,88
4	»	»	4,1	4,00
40	»	»	2,8	»

On remarquera que cette durée t est, en général, plus grande lorsque les pièces polaires sont rapprochées que lorsqu'elles sont

très éloignées, mais qu'elle présente un maximum très net pour une distance d'autant plus petite que le courant est lui-même plus faible, et qu'elle diminue d'ailleurs, pour une même distance D, à mesure que l'on augmente l'intensité I du courant.

Méthode d'hématoscopie et appareils pour l'analyse spectroscopique du sang; par M. le Dr A. Hénocque.

Je désigne sous le terme d'*hématoscopie* un ensemble de procédés d'analyse du sang, basés sur l'emploi du spectroscope et d'instruments de précision appelés *hématoscopes* et *hématospectroscopes.*

Cette méthode comprend deux modes d'observation principaux :

1° La détermination de la quantité d'oxyhémoglobine ou matière colorante active du sang, au moyen d'appareils appelés *hématoscopes* et *hématospectroscopes;*

2° L'évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine par l'examen spectroscopique à travers l'ongle du pouce.

Le rapport entre ces deux données sert à mesurer l'activité de la réduction de l'oxyhémoglobine, c'est-à-dire l'énergie de l'échange de l'oxygène entre le sang et les tissus.

Deux procédés complémentaires consistent dans l'observation diaphanométrique ou chromométrique et la photographie du sang contenu dans l'hématoscope.

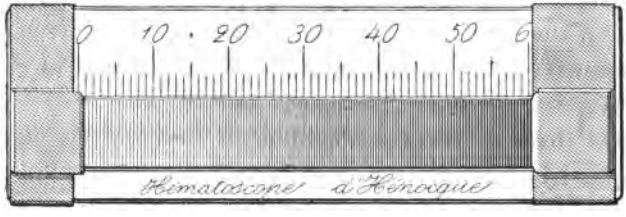
Le principe fondamental de la méthode est que « le sang doit être examiné pur, non dilué, tel qu'il sort des vaisseaux à la suite d'une piqûre, ou être étudié directement à travers les tissus et les parois vasculaires ».

Le problème technique a été résolu en remplaçant l'analyse spectrale du sang dilué, telle qu'on l'a pratiquée jusqu'à présent, par celle d'une couche mince de ce liquide dont l'épaisseur rendue progressivement variable peut être mesurée et notée en valeurs métriques; l'instrument de précision qui permet cette étude est désigné sous le nom d'*hématoscope.*

I. L'*hématoscope* est essentiellement constitué par deux lames

de verre de largeur inégale. Elles sont superposées de façon que, maintenues en contact à l'une de leurs extrémités, elles s'écartent à l'autre extrémité d'une distance de $\frac{300}{1000}$ de millimètre, limitant ainsi un espace prismatique capillaire. La position des lames est assurée au moyen de deux agrafes ~~en~~ laiton nickelé, supportées par la lame de verre inférieure, et formant deux coulisses dans lesquelles la lamelle supérieure est introduite à frottement doux (*fig.* 1).

Fig. 1. — Hématoscope, vu de face, grandeur naturelle.



La disposition de ces diverses parties est représentée en coupe dans la *fig.* 2.

La lame inférieure (*li*) est séparée de la lamelle supérieure (*ls*) par un espace prismatique *s* représenté en noir (il est un peu exagéré dans la figure). La lame inférieure porte à ses deux extrémités les agrafes de laiton; celle de gauche (*ag*) maintient les lames en contact; celle de droite est garnie d'un talon (*t*) ayant $\frac{3}{10}$ de millimètre d'épaisseur, qui détermine l'écartement des deux lames. Ces deux agrafes forment les deux rainures dans lesquelles la lamelle supérieure glisse à frottement doux (*fig.* 2).

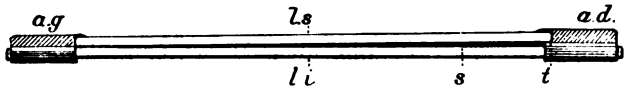
Une échelle graduée en millimètres est gravée sur la plaque inférieure; elle s'étend de 0^{mm} à 60^{mm}. Il résulte de cette disposition que si l'on fait pénétrer du sang entre les deux lames, celui-ci forme une couche dont l'épaisseur varie de gauche à droite entre zéro et $\frac{300}{1000}$ de millimètre ou 300 *micra*.

On peut mesurer l'épaisseur de cette couche au niveau de chaque division de l'échelle; en effet, chaque longueur de 1^{mm} correspond à $\frac{5}{1000}$ de millimètre et, pour calculer l'épaisseur en micra, il faut simplement multiplier par 5 le chiffre de l'échelle.

Lorsqu'on introduit du sang entre les deux lames en en déposant quelques gouttes sur la tranche inférieure, ce liquide pénètre

par capillarité et s'étend en couche d'une épaisseur graduellement progressive, de sorte que la coloration, nulle à 0, devient rougeâtre, rouge, carminée et de plus en plus intense vers 60. En d'autres termes, le sang présente une teinte progressivement plus foncée de gauche à droite, ainsi que le montre la *fig.* 1. Il est évident que la teinte sera d'autant plus prononcée que le sang contiendra une

Fig. 2. — Coupe de l'hématoscope.



plus grande quantité de matière colorante ou oxyhémoglobine, ce qui permet la mesure comparative et la mesure quantitative de la richesse du sang en oxyhémoglobine ou matière colorante active.

La quantité de sang nécessaire pour l'examen est celle que contient l'hématoscope : théoriquement elle est de 90^{mmc}; mais, dans la pratique, le poids du sang contenu dans l'hématoscope est de 90^{mgr} pour le sang contenant 13 pour 100 d'oxyhémoglobine.

II. *Application de l'hématoscope à l'analyse spectroscopique du sang.* — Si l'hématoscope chargé de sang pur est placé devant la fente d'un simple spectroscope à vision directe, en le faisant mouvoir lentement de gauche à droite, on constatera successivement l'apparition des *deux bandes d'absorption caractéristiques de l'oxyhémoglobine,* puis leur élargissement et enfin leur *réunion ou confusion,* en même temps que la disparition de l'espace jaune vert qui les séparait; en d'autres termes, on observe le sang sous des épaisseurs variant de zéro à $\frac{300}{1000}$ de millimètre; par conséquent, c'est à peu près comme si l'on examinait des dilutions de sang graduées de $\frac{1}{60}$ à 1 ou 0,016 à 1.

Toute modification de la matière colorante est facilement étudiée : le mélange d'oxyhémoglobine et d'hémoglobine réduite, la présence de la méthémoglobine, de l'hémoglobine oxycarbonée (1) et en définitive tous les dérivés de l'hémoglobine pré-

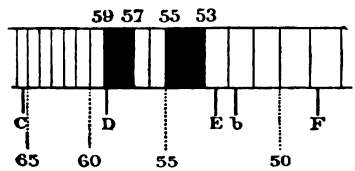
(1) *Voir* à ce sujet les *Comptes rendus de la Société de Biologie,* n° 18 (séance du 7 mai 1887).

sentent dans l'hématoscope leurs réactions spectrales caractéristiques.

L'hématoscope peut servir, non seulement à l'analyse spectroscopique qualitative du sang, mais aussi au dosage de l'oxyhémoglobine.

a. Principe de la méthode. — Lorsqu'on examine avec le spectroscope le sang dans l'hématoscope, on perçoit à une certaine épaisseur un aspect caractéristique des deux bandes de l'oxyhémoglobine, que j'ai désigné sous le nom de *phénomène des deux bandes également obscures* et qui peut être formulé ainsi qu'il suit.

Fig. 3.



Le sang contenant 14 pour 100 d'oxyhémoglobine, examiné à la lumière solaire sous une épaisseur de $\frac{70}{1000}$ de millimètre avec un spectroscope à vision directe, à une distance ne dépassant pas 1^{mm}, présente les deux bandes caractéristiques de l'oxyhémoglobine avec une teinte noire également obscure. Celles-ci ont une étendue égale dans le spectre, si on les mesure en longueurs d'onde λ. Elles occupent les plages entre 570 et 590 millionimètres (pour la bande α) et 550 à 530 millionimètres (pour la bande β).

La figure suivante démontre le phénomène des deux bandes également obscures, représenté sur l'échelle en longueurs d'onde que j'ai adoptée et qui correspond à celle de Abbe.

Il est facile de comprendre que le phénomène des deux bandes également obscures étant pris pour type se produit sous des épaisseurs différentes, suivant que le sang contient plus ou moins d'oxyhémoglobine, et que le sang étudié dans l'hématoscope présentera les « deux bandes égales » à une épaisseur d'autant plus grande qu'il sera plus pauvre en oxyhémoglobine, ainsi qu'on l'observe chez les anémiques.

b. Dosage de l'oxyhémoglobine. — Le procédé le plus simple consiste à se servir d'un spectroscope à vision directe, tel que le construit M. Lutz. L'hématoscope rempli de sang est tenu de la main gauche et présenté verticalement à la lumière solaire; on vise avec le spectroscope, tenu de la main droite et appliqué sur le verre, la couche sanguine près du zéro, et l'on glisse peu à peu l'instrument vers la division 60; des mouvements alternatifs à droite et à gauche permettent de préciser la division à laquelle on aperçoit le *phénomène des deux bandes également obscures.* L'échelle gravée sur l'hématoscope indiquera à quelle division correspond la fente du spectroscope, à condition de noter la division millimétrique qui représente la tangente verticale au disque supportant la fente, du côté gauche, et ajoutant le nombre 8 comme représentant la distance du *bord gauche du spectroscope* à la partie *visée* par la fente. (Cette addition représente la distance du bord gauche du disque à la fente plus une correction légère dépendante du prisme et facile à établir; elle est d'ailleurs de 8^{mm} dans les spectroscopes à vision directe de M. Lutz; et dans les hématospectroscopes de grand modèle, je la détermine pour chaque instrument.)

c. Échelle de concordance. — Je l'ai établie à l'aide d'un millier d'observations cliniques, et de l'étude comparative de la quantité de fer contenue dans le sang de l'homme et de divers animaux; je l'ai vérifiée par des recherches contradictoires avec le sang pur ou défibriné ou étendu de sérum, et enfin avec des solutions d'oxyhémoglobine.

L'échelle donne la quantité d'oxyhémoglobine correspondant à la distance millimétrique à laquelle on observe les deux bandes égales.

Par exemple, si le sang montre les deux bandes égales à 14^{mm}, soit $\frac{70}{1000}$ de millimètre d'épaisseur, la quantité d'oxyhémoglobine est de 14 pour 100; à la distance de 19^{mm} elle est de 10 pour 100, à 24^{mm}, de 8 pour 100; à 49^{mm}, de 4 pour 100; au delà de $3^{mm},5$, de 32 pour 100.

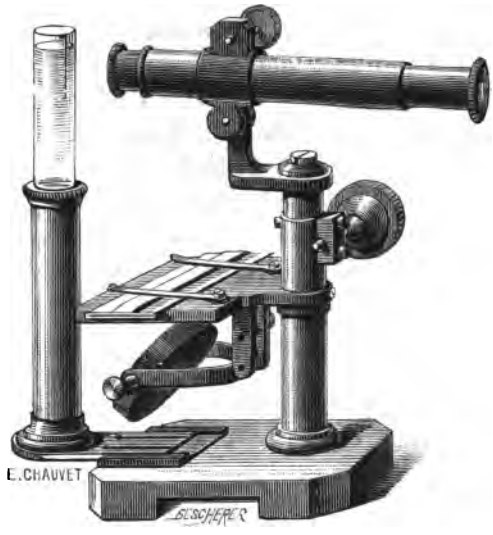
Le dosage de l'oxyhémoglobine est donc, par ce procédé, basé sur une constatation photométrique qui est définie par la mesure

métrique de l'épaisseur du sang qui correspond à cette observation.

III. *Hématospectroscopes.* — Pour faciliter l'étude du sang dans l'hématoscope, j'ai fait construire par M. Lutz plusieurs appareils dont je présente les trois principaux.

d. Le premier, ou hématospectroscope n° 1, est essentiellement

Fig. 4. (Modèle de l'étudiant.)

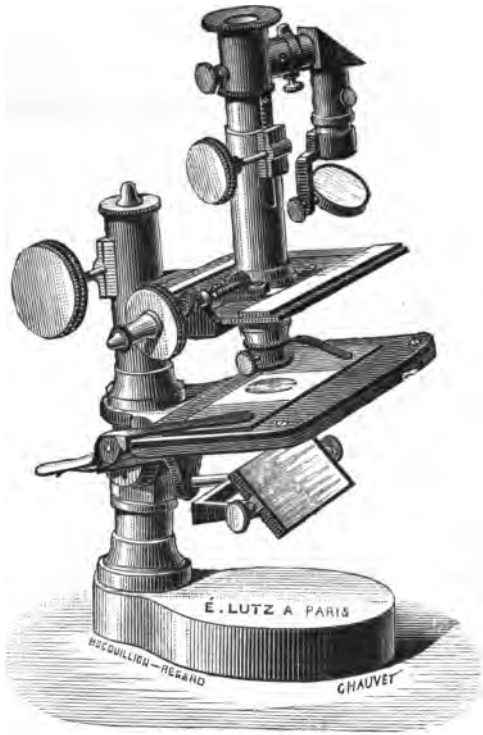


composé d'un spectroscope à vision directe et d'un support sur lequel celui-ci peut être fixé de façon à recevoir la lumière transmise par un miroir à travers l'hématoscope. Le support analogue à celui du microscope simple se compose d'une colonne verticale fixée sur un solide pied de laiton ; à cette tige verticale s'attache une platine noircie, ouverte à son centre et recevant la plaque hématoscopique ; et au-dessous de celle-ci est fixé un miroir concave auquel deux articulations en genou permettent les positions nécessaires. La colonne verticale se termine par un collier articulé dans lequel le spectroscope s'engage et peut être fixé en position verticale, horizontale et oblique. Cette disposition rend ce petit

appareil applicable aux études spectroscopiques les plus variées, et je le désignerai volontiers sous le nom de *modèle de l'étudiant* (*fig.* 4).

e. L'hématospectroscope n° 2, ou grand modèle, est disposé pour les recherches les plus précises et pour les démonstrations : c'est un instrument de laboratoire et d'enseignement (*fig.* 5).

Fig. 5. — Hématospectroscope (grand modèle).



Il est constitué par une partie optique (spectroscope à vision directe et à échelle spectrométrique) et par une monture formée de deux colonnes articulées, l'une supportant le spectroscope, les platines et le miroir, l'autre servant de manche pour saisir l'instrument, ou de pied pour le maintenir en position fixe.

La partie optique consiste en un spectroscope à vision directe.

Il est muni d'une échelle spectrométrique disposée dans un tube latéral, parallèle au spectroscope; l'image de l'échelle est projetée au moyen d'un prisme renfermé dans ce tube latéral; l'éclairage est obtenu par un petit miroir fixé au-dessous de ce tube; en outre, deux vis latérales permettent de mettre l'échelle au point par des déplacements légers de l'un ou de l'autre prisme.

La mise au point du spectroscope est effectuée à l'aide d'une vis à crémaillère micrométrique. Ce spectroscope à vision directe est vissé sur la platine supérieure et ainsi rattaché à la monture.

La tige de soutien est articulée avec le manche et le pied, de façon à pouvoir être verticale, horizontale ou oblique; elle supporte un plateau supérieur, une platine et un miroir.

La platine ressemble à celle des microscopes : elle est destinée à supporter les cuvettes ou prismes renfermant les liquides à examiner, et deux pinces-chevalets servent à fixer l'hématoscope. Elle est ouverte dans sa partie médiane, de façon à laisser passer les rayons lumineux d'un miroir situé au-dessous et articulé pour recevoir la lumière solaire directe ou diffuse.

Le plateau supérieur est formé de deux plaques de laiton superposées et glissant l'une sur l'autre; la supérieure porte le spectroscope et elle est mobile sur l'inférieure au moyen d'une vis sans fin à tige horizontale et maniée par un bouton qui permet de mouvoir le spectroscope dans le sens latéral et alternativement de droite à gauche ou de gauche à droite; un vernier donne la mesure de ces mouvements en fractions de millimètre. Ce plateau peut être rapproché ou éloigné de la platine, au moyen d'une large vis à crémaillère, pour rendre facile l'application directe de la fente spectroscopique sur l'hématoscope.

Cette disposition du plateau supérieur à mouvements alternatifs latéraux favorise la détermination exacte des phénomènes spectroscopiques de l'examen du sang et des corps liquides ou solides présentant des bandes d'absorption, et elle mérite d'être signalée pour les études pétrographiques, parce qu'elle permet de déterminer exactement la position de la fente spectroscopique, et la partie de la préparation soumise à l'observation.

f. Hématospectroscope double à fente unique. — Cet instrument, construit d'après mes indications par notre collègue M. Lutz,

réalise un progrès important en technique spectroscopique, puisqu'il est disposé de façon que deux personnes puissent observer en même temps le même phénomène spectroscopique et se

Fig. 6. — Hématospectroscope double à fente unique.

contrôler réciproquement. Il est destiné spécialement à l'analyse du sang avec mon hématoscope et à l'examen du phénomène de réduction de l'oxyhémoglobine dans le sang à travers l'ongle du pouce. Il se compose d'une partie optique et d'un support. La partie optique est constituée par deux petits spectroscopes à vision directe n'ayant qu'une fente commune. Chacun d'eux est formé

d'un tube interne renfermant trois prismes associés et surmonté d'une lentille oculaire; ce tube glisse à frottement doux dans un tube extérieur qui est soudé à un tambour (*fig.* 6).

Le tambour sur sa face supérieure supporte les deux tubes ou branches du spectroscope écartées en forme de V; et sur sa face inférieure est fixée la fente unique, qui peut être réglée au moyen d'une vis micrométrique.

Le support consiste en un plateau de cuivre reposant sur un pied à coulisse, et le spectroscope double est fixé sur le plateau au moyen d'une colonne articulée terminée par un collier à vis dans lequel est introduite l'une des branches du spectroscope. L'articulation de la colonne de soutien qui vient d'être perfectionnée par la substitution d'une articulation en genou, puis la mobilité du plateau dans le plan horizontal, permettent d'exécuter facilement tous les mouvements.

IV. *Évaluation de la durée de la réduction de l'oxyhémoglobine.* — On la détermine par l'examen spectroscopique du sang à travers l'ongle du pouce. En effet, avec le spectroscope à vision directe, on voit à travers cet ongle la première bande caractéristique de l'oxyhémoglobine et quelquefois la seconde. Si l'on fait une ligature autour de la phalange, les bandes disparaissent peu à peu; on voit d'abord réapparaître le jaune au niveau de la raie D qui était cachée (ce que j'appelle *moment du virage*); puis les bandes s'effacent complètement. La *durée de la réduction* est le temps qui s'écoule à partir de l'application de la ligature jusqu'à la disparition complète des bandes caractéristiques de l'oxyhémoglobine.

La ligature isole dans le pouce une certaine quantité de sang oxygéné qui, pendant quelque temps, montre les bandes de l'oxyhémoglobine; celle-ci abandonne son oxygène aux tissus, elle est réduite et ne présente plus de bande d'absorption assez intense pour être perçue à travers l'ongle.

La durée de la réduction varie entre vingt-cinq et cent dix secondes, la moyenne est de soixante secondes dans l'état de santé et de repos; elle est en rapport avec la quantité d'oxyhémoglobine et avec la rapidité des échanges entre le sang et les tissus.

V. *Mesure de l'activité de la réduction.* — J'ai déterminé l'unité d'activité de la réduction, de la manière suivante. L'expérience m'ayant montré que, chez l'homme vigoureux et sain, dont le sang contient 14 pour 100 d'oxyhémoglobine, la durée de réduction moyenne est de soixante-dix secondes, j'en ai déduit que la quantité d'oxyhémoglobine réduite en une seconde est de 0,20 pour 100. Cette quantité est prise pour unité d'activité de réduction, et la formule suivante permet de calculer l'activité correspondant à des durées de réduction et à des quantités d'oxyhémoglobine déterminées par mes procédés.

L'activité de réduction ou $\varepsilon = \frac{\text{quantité d'oxyhémoglobine}}{\text{durée de réduction}} \times 5.$

J'ai étudié, sur près de trois cents individus, avec plus d'un millier d'observations, les variations de l'activité de réduction, à l'état physiologique et sous l'influence des médications et des agents thérapeutiques ou toxiques.

SÉANCE DU 1er AVRIL 1887.

PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 mars est lu et adopté.

Sont élus Membres de la Société :

MM. Bourrut-Duvivier, Professeur à l'École de Marine, à Brest.
Brieu (Georges), Professeur à l'École Normale de Périgueux.
Nogué (Émile), attaché à la maison Pellin-J. Duboscq.
Létang (Paul), Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

A propos de la Communication faite par M. Leduc, M. Potier fait observer qu'il n'y a aucune raison de considérer le magnétisme de l'électro-aimant comme une fonction de l'intensité du courant qui circule dans le fil pendant la période variable, tandis que cette dernière est, au contraire, déterminée principalement par les variations du magnétisme du fer; de sorte qu'au bout d'un temps excessivement court le courant serait le même, en l'absence de force électromotrice extérieure, dans le circuit qui a excité l'électro-aimant ou dans un circuit identique secondaire. Les courants induits dans le fer paraissent jouer le rôle principal dans la désaimantation et, bien qu'ils ne soient pas la seule cause du retard de cette

désaimantation, un essai de théorie ne peut les négliger. Leur action est facile à déterminer dans le cas d'un électro-aimant cylindrique indéfini; on trouve alors que la fonction du temps qui représente le courant doit se composer d'une somme d'exponentielles décroissantes du temps, les exposants étant de la forme $-\alpha t$, les quantités α étant l'une le terme $\frac{R}{L}$ propre au fil, et les autres $(4a^2 C\mu)^{-1} \times m$, où a est le rayon du noyau de fer, C sa conductibilité spécifique, μ sa perméabilité magnétique, et m un des nombres de la série 0,765, 1,757, 2,754, ..., racines d'une équation transcendante connue.

Des formules analogues s'appliquent au cas de l'aimantation et, bien qu'on ait supposé μ constant, rendent compte de l'allure générale des phénomènes.

M. Émile Reynier donne la description de la grande batterie secondaire qu'il vient de construire à l'Hôtel de Ville de Paris, par ordre du regretté Bartet.

Cette batterie pèse 11^{t} et contient 4500^{lit} de liquide. Elle comprend 165 grands couples Planté, de $0^{m},26$ de diamètre et $0^{m},80$ de hauteur. Chacun de ces couples peut débiter un courant de 240^{amp}, avec une chute de potentiel de $1^{volt},9$. La puissance de l'ensemble est donc d'environ 80000^{watts}, soit un peu plus de 100^{chx}.

La surface active des couples est 480^{dmq}; leur résistance intérieure est $0^{ohm},0005$; leur capacité, après formation complète, pourra atteindre un million de coulombs.

La batterie a pour fonction de régulariser, et de prolonger en cas d'accident survenu aux machines, la lumière de 2200 lampes Edison. L'auteur pense que des voltamètres *zinc-plomb* auraient une efficacité plus complète comme régulateurs de courant; par contre, les couples Planté sont plus aptes à acquérir une grande capacité électro-chimique et à fonctionner comme accumulateurs proprement dits.

En vue de certaines expériences, la puissance de 100^{chx} électriques pourrait être rendue disponible sous des régimes variés, depuis le potentiel maximum de 330^{volts} avec le débit normal de 240^{amp}, jusqu'au potentiel minimum de $1^{volt},9$ avec un débit de *quarante mille ampères*.

M. Reynier termine en remerciant M. Gaston Planté, qui a bien voulu l'aider de ses conseils dans l'exécution de cette batterie, de dimensions jusqu'alors inusitées.

M. Paul Rousseau présente une balance de précision à très court fléau et à pesées rapides, possédant une disposition nouvelle, dont MM. Gouche et Maurice de Thierry sont les auteurs, et dont le brevet est sa propriété.

Cette disposition permet de faire les pesées les plus précises presque instantanément; les oscillations sont très vives, la sensibilité est extrême et reste la même avec le maximum de charge, ce qui n'a pas lieu avec tous les

autres systèmes. Cette balance, construite à Paris par M. Rousseau, peut lutter avantageusement avec les balances allemandes.

L'organe principal et particulier du modèle présenté consiste en un couteau placé en prolongement du couteau central et dont l'arête est tournée vers le haut et légèrement au-dessus de celle du couteau médian. Sur ce couteau, et porté par un plan d'agate, repose un étrier auquel est suspendu, par un fil, un poids désigné sous le nom de *poids de sensibilité.*

Le tranchant du couteau qui porte ce poids étant, comme il vient d'être dit, placé un peu au-dessus de celui du couteau central, le poids de sensibilité tend à accentuer le mouvement du fléau dès que celui-ci commence à s'incliner. On peut rendre cette action évidente, en retirant ce poids; on voit ainsi que la balance accuse à peine une charge de 2^{mgr} alors que sous cette même charge, et avec le poids de sensibilité, le fléau devient presque fou.

On peut donner à cette balance, au moyen de sa disposition particulière, toute la sensibilité désirable, même voisine de la folie; pour cela, quand les bras du fléau ont été mis de même longueur, on place dans les plateaux la charge maxima et on règle la sensibilité en abaissant les petites masses placées au-dessus du couteau central.

Cette disposition permet encore de conserver ces balances sensibles beaucoup plus longtemps que toutes les autres balances de précision; en effet, dans ces dernières, dès que les couteaux sont un peu émoussés, ce qui amène forcément l'abaissement du centre de gravité, toute précision disparaît.

Ce système peut s'appliquer à toutes les balances.

M. Laurent présente un modèle de saccharimètre, *modifié* pour la projection. Il rappelle qu'il construit deux types de saccharimètres: l'un *à rotation*, avec la lumière *monochromatique;* l'autre *à compensation,* avec la *lumière blanche;* tous les deux sont d'ailleurs *à pénombres.*

Il serait intéressant de pouvoir en faire la projection. La plus grande difficulté est le peu de lumière qui sort de ces appareils; on agit en effet *près* de l'extinction totale; de plus, les diaphragmes sont petits, ils n'ont que 8^{mm}. M. Laurent a pensé qu'il pourrait néanmoins obtenir un bon résultat en projection avec la lumière électrique, très répandue aujourd'hui.

Au moyen d'une coupe longitudinale de l'appareil, il explique sur le tableau la marche des rayons dans la nouvelle disposition. L'oculaire concave est remplacé par un objectif qui donne sur un écran *blanc* l'image de la lame *demi-onde* (telle qu'on la voit habituellement); au-dessus, se projettent les divisions de la règle et du vernier; elles sont tracées sur glaces et éclairées par le point lumineux; il y a un objectif et un verre de champ.

M. Laurent adresse de vifs remerciements à M. Pellin, qui a bien voulu se charger de la lumière électrique, et procède aux expériences de projection.

En tournant le bouton du compensateur à droite et à gauche, on voit successivement le demi-disque gauche ou droit devenir plus foncé; au zéro, il y a *égalité* de tons. En faisant varier l'angle des deux sections principales, on voit que l'image est plus ou moins éclairée. En ôtant le bichromate, on constate que le côté correspondant à la lame est bleu; si l'on remet le bichromate, il est noir. On interpose un quartz type de 1^{mm}, les deux demi-disques deviennent plus éclairés; en agissant sur le compensateur, on rétablit l'égalité de tons et l'index marque 100.

M. Laurent appelle l'attention de la Société sur deux points très importants en pratique.

1° Les deux demi-disques sont *uniformément* éclairés dans tout le champ: or cela n'arrive pas dans les appareils *à prisme coupé;* le *défaut* tient à la forme même de ce prisme et on ne peut le faire disparaître. Il n'existe pas dans les appareils à lame demi-onde.

2° Dans un système à pénombres *quelconque,* on n'obtient pas la *même couleur* pour les deux demi-disques, et, surtout si l'on opère loin du zéro, *on ne peut pas l'obtenir;* cela tient à la flamme qui n'est pas rigoureusement monochromatique, même avec l'interposition du bichromate. Il fait bien remarquer que, dans son modèle à compensateur (qu'il a déjà présenté à la Société, il y a cinq ans), ce défaut n'existe pas. On a bien *égalité de couleurs* et *égalité d'éclairement.*

M. Laurent démontre aussi l'avantage de son *grand* modèle (tubes de $0^{m},50$) sur le petit modèle (tubes de $0^{m},20$). Le rapport de l'image (vue dans un instrument) au diaphragme portant la lame est deux fois plus petit dans le grand modèle, de sorte que la netteté est quatre fois aussi grande dans le grand modèle. On ne gagnerait plus rien en augmentant la longueur de l'instrument, au contraire.

On peut aussi faire la projection sur un *verre dépoli* très fin; on regarde alors de l'autre côté : la quantité de lumière transmise est notablement plus grande; on peut alors non seulement faire de la démonstration, mais aussi des *mesures,* et arriver à une précision de $\frac{1}{1000}$ à $\frac{2}{1000}$ (presque comme dans l'observation individuelle. Au moyen d'une disposition de deux miroirs fixés à 90° et à 1^{m} de l'écran, deux personnes, placées en face l'une de l'autre et regardant perpendiculairement à l'axe de l'appareil, peuvent observer en même temps (les images sont de même sens pour chacune). Une disposition mécanique simple permet alors de manœuvrer, à distance, le compensateur.

M. S.-P. Thompson expose à la Société les modifications qu'il a fait subir au prisme de Nicol dans le double but d'économiser la matière du prisme et d'augmenter l'étendue du champ.

William Grosseteste
Ingénieur

Saccharimètre de projection; par M. Léon Laurent.

Les saccharimètres que je construis se divisent en deux types; tous les deux sont à *pénombres :*

1° Saccharimètre ou *polarimètre* à *rotation :* il exige l'emploi de la lumière monochromatique salée;

2° Saccharimètre à *compensation :* il est plus spécial pour le sucre; on emploie la lumière blanche ordinaire.

Tous ces appareils s'emploient pour l'observation individuelle. Il serait cependant intéressant de les employer aussi pour la projection, mais les difficultés sont grandes; la principale résulte du peu de lumière qui sort de ces appareils : on agit, en effet, près de l'extinction totale; de plus, les images sont très petites, car on est obligé d'avoir des diaphragmes de petit diamètre (ils sont de 8^{mm}) à cause des quartz, des nicols, des tubes, etc.

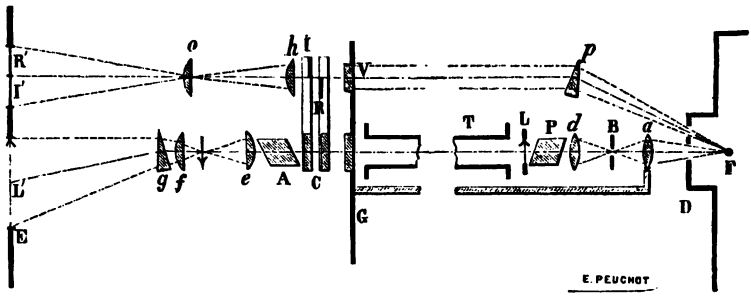
Aussi, la projection du saccharimètre à rotation, éclairé par la lumière monochromatique, ne donnerait-elle aucun résultat; mais avec le saccharimètre à compensation, on peut employer la lumière électrique et, comme cette lumière est aujourd'hui très répandue, et facilement obtenue dans les grands établissements scientifiques, j'ai pensé qu'avec quelques dispositions spéciales on pourrait obtenir des projections suffisantes.

La *fig.* 1 représente une coupe verticale de l'appareil placé en expérience, et suivant un plan perpendiculaire à l'écran; les dimensions longitudinales sont très raccourcies.

On peut projeter sur l'écran *blanc* E, à la manière ordinaire, et faire la démonstration de toutes les particularités du saccharimètre : montrer, par exemple, l'égalité de tons, la variation de l'angle des sections principales, l'influence du bichromate, l'interposition du sucre, de la plaque de *quartz* type de 1^{mm}, etc. On voit simultanément la projection de l'image polarisée et celle des divisions.

On peut aussi faire la projection sur un *verre dépoli* très fin, on regarde alors de l'autre côté; la quantité de lumière transmise

est notablement plus grande; on peut alors non seulement faire de la démonstration, mais aussi des *mesures,* et arriver à une



NOTICE EXPLICATIVE.

Appareil proprement dit.

F, point lumineux donné par les charbons du régulateur.
D, diaphragme, monté sur la lanterne de projection (sans lentilles).
a, lentilles de champ, donnant en B un foyer réel de F.
B, diaphragme portant le bichromate de potasse, c'est le foyer conjugué de la surface de l'objectif *e*.
d, lentille rendant les rayons parallèles dans le tube T.
P, polariseur Foucault.
L, lame demi-onde.
T, tube pour les liqueurs sucrées.
G, cadran supportant le condensateur C.
C, compensateur Soleil, *modifié*.
A, nicol analyseur.
e, ancien objectif des appareils ordinaires; il donne une image réelle de L entre *l* et *f*.
f, nouvel objectif (remplaçant l'ancien oculaire concave); il donne sur l'écran une image réelle L' de L.
g, prisme faible, servant à empêcher l'image L' d'empiéter sur l'image des divisions R', I'.

Projection des divisions.

p, prisme empruntant la lumière de F et la renvoyant sur I et R.
V, verre orangé, pour diminuer l'éclat de l'éclairement des divisions I et R.
R, règle du compensateur; les divisions sont faites sur verre.
I, index, avec divisions faites sur verre.
h, lentille de champ, concentrant les rayons lumineux sur O.
O, objectif servant à projeter les divisions sur l'écran en R', I'.

précision de $\frac{1}{1000}$ à $\frac{2}{1000}$ (presque comme dans l'observation individuelle); seulement le phénomène n'est visible en même temps que pour un plus petit nombre d'observateurs.

Au moyen d'une disposition de deux miroirs formant entre eux un angle de 90° et situés à 1^m de l'écran, deux personnes, placées en face l'une de l'autre et regardant perpendiculairement à l'axe de l'appareil, peuvent observer en même temps (les images sont de même sens pour chacune); ce peut être le cas d'un professeur et d'un élève ou de deux experts, etc.

Une disposition mécanique simple, consistant en un bouton sur tige, qu'on place à portée de la main, permet, dans ce cas, de commander, *à distance,* le bouton du compensateur au moyen d'une corde sans fin.

J'appellerai l'attention sur deux points très importants en pratique et relatifs aux appareils pour l'observation individuelle.

1° Les deux demi-disques sont *uniformément* éclairés dans tout le champ; or cela n'arrive pas dans les appareils à *prisme coupé;* le défaut tient à la forme même de ce prisme et l'on ne peut le faire disparaître. Il n'existe pas dans les appareils à lame demi-onde.

2° Dans un système à pénombres *quelconque,* on n'obtient pas la *même couleur* pour les deux demi-disques, surtout si l'on opère avec une flamme intense et loin du zéro; *on ne peut pas l'obtenir.* Cela tient à la flamme qui n'est pas rigoureusement monochromatique, même avec l'interposition du bichromate. Ce défaut n'existe pas dans mon modèle à compensateur [1] où l'on a bien : *égalité de couleurs* et *égalité d'éclairement.*

Le saccharimètre *grand* modèle (pour tubes de $0^m,50$) a aussi un avantage important sur le petit modèle (pour tubes de $0^m,20$). Le rapport de l'image (vue dans l'instrument) au diaphragme portant la lame est deux fois plus petit dans le grand modèle, de sorte que la netteté est quatre fois aussi grande dans le grand modèle que dans le petit. On ne gagnerait plus rien en augmentant la longueur de l'instrument, au contraire.

---

[1] *Journal de Physique*, 2e série, t. I, p. 552.

Sur quelques nouveaux prismes polarisants;
par M. S.-P. Thompson.

Il y a trois ans que, à la séance tenue par la Société de Physique à l'observatoire de Paris, j'ai eu l'honneur de mettre sous ses yeux quelques nouveaux prismes polarisants présentant, dans leur construction, les particularités suivantes :

1° La couche de baume de Canada est dans une section principale et fait un angle de 19° environ avec les faces terminales.

2° L'axe visuel du prisme fait un angle droit avec l'axe optique.

3° Les deux faces terminales du prisme, ainsi que deux des faces longitudinales, sont des plans principaux, les deux autres faces longitudinales étant perpendiculaires à l'axe optique et cristallographique. Dans quelques-uns de ces prismes, les faces terminales sont perpendiculaires à l'axe de vision et la forme extérieure du prisme est celle d'un parallélépipède rectangle; dans quelques autres, les faces terminales sont obliques. Les avantages que présentent ces formes nouvelles sur les anciennes sont les suivants :

a. Une plus grande étendue du champ de polarisation complète;

b. Suppression de la bande colorée bleue à la limite du champ;

c. Distorsion des images rendue minimum;

d. Direction du plan de polarisation dans les diverses parties du champ, maintenue plus exactement parallèle à celle du plan de polarisation au centre; par suite, une extinction plus complète de la lumière quand deux prismes sont placés à angle droit;

e. Déplacement de l'image rendue minimum pendant la rotation du prisme (remarque faite par M. Glazebrook);

f. Perte de lumière par réflexion sur les surfaces terminales rendue minimum.

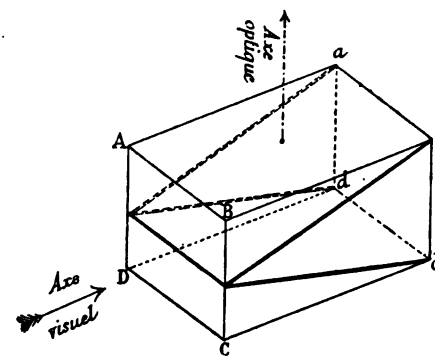
Par contre, les désavantages de ces formes étaient leur prix élevé, dû à la perte inévitable de matière qu'elles entraînent. A la même séance, j'avais présenté, sous le nom de *nicols renversés,* quelques autres prismes dans lesquels, tout en laissant au prisme la forme extérieure des nicols ordinaires, j'obtenais quelques-uns

des avantages précédents, en particulier, l'accroissement du champ de polarisation; j'arrivais à ce résultat en renversant simplement l'obliquité des faces terminales de manière que les deux faces terminales obliques sur le morceau de spath non encore coupé, au lieu de faire avec l'axe cristallographique un angle de 45°, fissent seulement un angle de 100°, et que la couche de baume fût presque perpendiculaire à l'axe cristallographique.

En juin 1886, dans le *Philosophical Magazine* (¹), j'ai décrit deux nouvelles modifications, l'une sous le nom de *prisme de Nicol renversé de petite longueur;* l'autre, due à M. C.-D. Ahrens, sous le nom de *prisme à trois pièces.*

Le prisme à trois pièces d'Ahrens, construit en 1886, avait la forme représentée dans la *fig.* 1. Il consiste en un bloc rectangu-

Fig. 1.

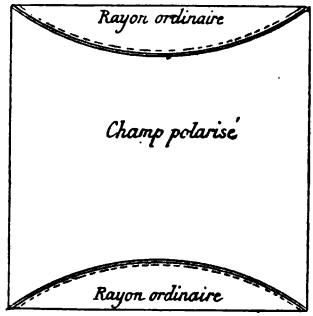


laire de spath dont les deux faces terminales ABCD et *abcd* sont des sections principales, ainsi que les deux faces longitudinales B*bc*C et A*ad*D, les deux autres faces longitudinales étant perpendiculaires à l'axe cristallographique : le bloc est divisé par deux plans obliques ayant leurs lignes d'intersection mutuelles sur l'une des faces terminales et passant par les arêtes *ab* et *dc* de la face opposée. L'angle dièdre compris entre les deux plans est d'environ 30°; le bloc est ainsi divisé en trois parties qui, après avoir été polies, sont réunies à la manière ordinaire avec du baume de Canada.

(¹) *Philosophical Magazine*, juin 1886, p. 477.

Le champ polarisé qu'on observe, en regardant par les faces terminales, est terminé, comme l'indique la *fig.* 2, par deux bandes correspondant aux régions où pénètre le rayon ordinaire et est séparé du champ par des bandes d'interférences à coloration rouge.

Fig. 2.



L'étendue du champ utile dans sa partie la plus étroite est d'environ 28°. Dans le sens perpendiculaire, il s'étend à plus de 100° sans pénétration ni à droite ni à gauche d'aucun rayon ordinaire; il n'y a aucune trace de bande bleue : la distorsion et le déplacement des images sont réduits au minimum.

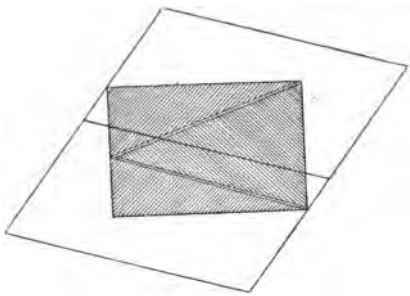
La position du bloc dans le cristal primitif de spath est représenté dans la *fig.* 3. On voit que cette forme exige un morceau de spath de dimensions considérables par rapport aux dimensions du prisme qu'on en peut tirer. Quant à l'inconvénient résultant de ce que la ligne d'intersection tombe précisément sur la face terminale, elle n'a pas grande importance et l'on peut, du reste, l'annuler en pratique en couvrant cette face par une lame mince collée au baume de Canada; cette lame rend la ligne imperceptible et protège en même temps la face antérieure du prisme.

L'auteur a fait observer à M. Ahrens que, puisque l'étendue du champ polarisé utilisable dépend seulement des limites dans lesquelles pénètre le rayon ordinaire et que les propriétés des rayons ordinaires sont symétriques dans toutes les directions, les avantages de la combinaison triple seraient également atteints par toute disposition des deux plans de section qui conserveraient

entre eux le même angle avec leurs lignes d'intersection dans la face terminale, et il chargea M. Ahrens d'étudier un mode de section qui, tout en gardant les deux faces terminales comme plans principaux de section, entraînerait une moindre dépense de spath.

C'est à quoi est arrivé M. Ahrens en opérant de manière que chaque portion enlevée au cristal destinée au prisme triple puisse être employée à la construction d'autres prismes polarisants.

Fig. 3.



Il serait difficile d'expliquer en détail la méthode de M. Ahrens; elle revient en somme à trouver un plan caractéristique perpendiculaire aux faces terminales (lesquelles sont toujours des sections principales) et qui fassent un certain angle avec les plans de clivage. Cette méthode de M. Ahrens n'a pas seulement l'avantage que toutes les portions enlevées soient immédiatement utilisables, elle est, au point de vue pratique, d'une exécution plus facile, la direction des coupes par rapport au plan de clivage exposant moins aux ruptures accidentelles; on peut donc la considérer comme plus économique que toute autre méthode de coupe jusqu'ici connue.

Les prismes présentés à la Société sont :

1° Un triple prisme d'Ahrens, ayant des faces terminales de 20^{mmq};

2° Un triple prisme d'Ahrens ayant des faces terminales de 12^{mmq};

3° Deux prismes rectangulaires, chacun formé par les portions provenant de la coupe du premier prisme;

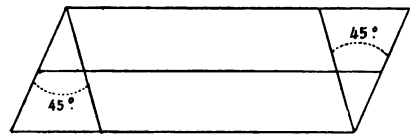
4° Un prisme triple Ahrens-Foucault dans lequel la lame de

baume est remplacée par une lame d'air. Le prisme central a un angle de 125° et le champ est de 8° environ;

5° Un modèle montrant l'orientation du plan caractéristique.

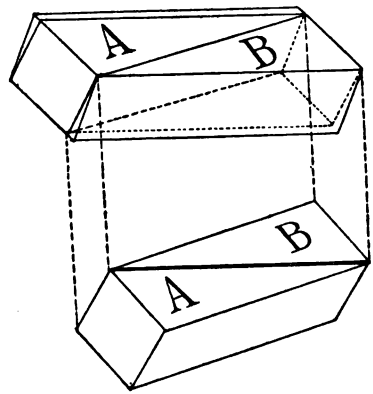
L'auteur a aussi indiqué un procédé analogue pour la construc-

Fig. 4.



tion de prismes formés de deux morceaux seulement et a trouvé que le même principe de renversement peut être appliqué à des prismes de cette espèce. Soit un cristal de dimensions convenables, pour un nicol ordinaire; on coupe les deux extrémités de manière que les faces terminales soient des sections

Fig. 5.



principales et on divise le morceau en deux parties suivant un plan caractéristique perpendiculaire aux faces terminales et passant à peu près par l'intersection de ces faces avec les faces naturelles de clivage. Les deux morceaux ainsi obtenus, après avoir été polis, sont renversés l'un par rapport à l'autre et réunis avec du baume de manière que le plan caractéristique forme les faces extérieures longitudinales du prisme. Un prisme ainsi constitué présente les

mêmes qualités que les prismes décrits antérieurement par l'auteur et est d'un prix moins élevé. Le prisme de cette espèce présenté à la Société est également construit par M. Ahrens; l'auteur propose de le caractériser par la formule *prisme* (RR), c'est-à-dire *prisme rectangulaire renversé.*

La *fig.* 4 montre le morceau naturel de spath et les deux sections donnant les faces terminales.

La *fig.* 5 montre en haut la division du prisme ainsi obtenu par le plan caractéristique en deux morceaux A et B et, en bas, la réunion de ces deux morceaux A et B accolés en sens inverse après avoir été usés et polis de manière à donner un prisme exactement rectangulaire.

SÉANCE DU 6 MAI 1886.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er avril est lu et adopté.

M. le Président annonce à la Société la perte qu'elle a faite, depuis la dernière séance, de deux de ses membres les plus distingués, M. *Thollon*, attaché à l'observatoire de Nice, et M. *Gaiffe*, constructeur d'instruments à Paris.

« M. Thollon s'était fait connaître, dès ses débuts dans la Science, par la construction d'un spectroscope, devenu bien vite le plus parfait peut-être, certainement le plus puissant des instruments de même nature, et il s'était voué tout entier à la mise en œuvre de ce bel appareil. Appelé à l'observatoire de Nice aussitôt après la publication de ses premiers résultats, il eut le bonheur d'y pouvoir reconnaître la libéralité de M. Bischoffsheim par plusieurs observations intéressantes. On peut citer celles des lignes brillantes du sodium et du fer dans le spectre de la grande comète de 1881; et surtout la distinction, importante au point de vue d'un principe encore contesté de l'analyse spectrale, entre les lignes telluriques et les lignes propres de l'atmosphère solaire. Dans ces derniers temps, il avait entrepris la description exacte et minutieuse d'un spectre solaire, dont l'étendue ne devait pas mesurer moins de 15m de longueur. La cruelle maladie à laquelle il vient de succomber avait interrompu ses recherches depuis plusieurs mois : ses nombreux amis déplorent doublement une perte qui laisse inachevé un important travail.

» M. Gaiffe n'était pas seulement connu par les nombreux et intéressants

appareils qu'il a fournis à l'électricité médicale, et par l'introduction en France du procédé américain de nickelage qui alimente aujourd'hui une importante industrie. Tous les physiciens ont pu apprécier son inépuisable complaisance et son habileté dans la réalisation de leurs conceptions les plus délicates; l'une et l'autre avaient été justement récompensées dans les expositions universelles par les plus hautes distinctions.

» Le nom de M. Gaiffe, comme celui de M. Thollon, restera cher et honoré dans la mémoire de tous les amis de la Science. »

M. le Secrétaire général signale l'envoi des Notes suivantes :

1° M. Cavé : *Hypothèse nouvelle sur la cause des tremblements de terre.*

2° M. Delaurier : *Observations sur l'emploi des accumulateurs pour régulariser la lumière électrique.*

3° M. E. Lehman : *Hygromètre à torsion.*

M. Picou présente les transformateurs Zipernowsky, Deri et Blathy.

Ces appareils se composent en principe d'une bobine d'induction annulaire à circuit magnétique fermé.

Le noyau est formé de galettes superposées et isolées au papier. Chacune d'elles est constituée par une spirale de fer doux dont les circonvolutions sont isolées aussi au papier.

Sur ce noyau convenablement recouvert, on bobine à la main le fil primaire par sections distinctes et isolées. Ce fil est continu d'un bout à l'autre. Par-dessus est enroulé le fil secondaire. Celui-ci est dénudé et relié à une borne intermédiaire au milieu de sa longueur. On peut ainsi avoir à volonté n volts et $2i$ ampères ou bien $2n$ volts et i ampères, suivant qu'on utilise les deux moitiés du fil induit bout à bout ou en parallèle.

Les coefficients d'induction sont très élevés et se mesurent par des méthodes détournées. La connaissance du nombre exact des spires permet de calculer les coefficients en fonction de l'un d'eux.

On peut, par exemple, enrouler deux ou trois spires auxiliaires autour du transformateur, et les relier à un galvanomètre balistique. En comparant la décharge induite à celle que donne, dans le même galvanomètre, un condensateur de capacité connue, on obtient de suite le coefficient d'induction mutuelle des deux circuits en expérience. Les autres s'en déduisent immédiatement.

On peut aussi mesurer un des coefficients de self-induction, en intercalant le circuit en expérience dans un pont de Wheatstone. On trouble l'équilibre par addition d'une résistance connue. Puis on le rétablit et l'on mesure l'impulsion de rupture.

Le rendement de l'appareil dépend de sa résistance intérieure et du travail dépensé à l'aimantation du fer. Les résistances des circuits peuvent

être réduites autant qu'on le veut. Pratiquement, on les réduit de telle sorte que RI^2 soit réduit à 1 pour 100 des watts disponibles.

Le travail d'aimantation est variable avec la qualité du fer, l'intensité des effets magnétiques et le nombre de périodes employé. Ce dernier ne dépasse pas 45 à 50 (90 à 100 renversements) dans le système Zipernowsky. La puissance ainsi consommée ne dépasse pas 210 watts sur un transformateur de 7500 watts disponibles, soit environ 3 pour 100. Le rendement de ce type est donc d'environ 95 pour 100.

Indépendamment de ses applications générales, le transformateur est susceptible de divers autres emplois. Les inventeurs s'en servent en particulier comme égalisateur de tension.

Un petit transformateur est monté à l'usine de production, par exemple, et son circuit primaire est parcouru par l'un des fils de la conduite principale. Il donne donc aux bornes du circuit secondaire une différence de potentiels moyenne proportionnelle au courant total. Le circuit secondaire se ferme sur une résistance; mais, en même temps, celle-ci est parcourue en sens inverse par une dérivation du courant principal qui se rend ensuite au transformateur proprement dit, le premier étant plus proprement l'égalisateur de tension. Le résultat de la combinaison est que les lampes éclairant l'usine ainsi que le voltmètre, qui sont montés sur le second transformateur, sont exactement au même potentiel que celles qui sont à l'autre extrémité de la ligne principale. Cela reste vrai, quelle que soit la perte et quel que soit le courant consommé, si tout a été convenablement calculé.

Ce système de transformation est en exploitation à Lucerne, Turin et Milan. Une grande usine est en montage à Rome, et des applications se préparent en France par les soins de la Compagnie continentale Edison.

M. Deslandres présente le résultat des recherches qu'il a entreprises au laboratoire de l'École Polytechnique sur la structure des spectres de bandes.

Ayant été appelé à répéter les expériences de M. Cornu sur les spectres des métaux, il fut très frappé par les résultats importants obtenus par ce savant, qui a reconnu, dans les spectres métalliques, l'existence de séries de raies semblables à la série de l'hydrogène. Il se proposa de chercher si les spectres des métalloïdes, ou, autrement dit, les spectres de bandes, offraient aussi une loi simple de distribution des raies et des bandes.

Dans ce but, il étudia les spectres ultraviolets des métalloïdes, qui n'avaient donné lieu encore à aucune publication. Il s'est servi des lentilles achromatiques en quartz et spath fluor construites par M. Cornu pour l'étude des spectres métalliques, et a employé successivement un prisme de flint, un prisme de quartz, un prisme de spath d'Islande, et en particulier un magnifique réseau Rowland, dont le sixième spectre a pu être photographié.

Au début du travail, il comprit la nécessité d'étudier à fond les gaz que

l'on rencontre toujours comme impuretés, à savoir : l'azote, l'oxygène, la vapeur d'eau et les hydrocarbures, qui offrent au moins dix spectres de bandes distincts. — En ajoutant des bandes spéciales du gaz de l'éclairage, les spectres du cyanogène et de la vapeur d'iode, il obtint treize spectres, qui furent comparés entre eux et examinés au point de vue de la répartition des raies et des bandes.

Les résultats sont les suivants : 1° certains spectres, dus à des corps composés ayant un corps simple commun, offrent la même disposition générale de bandes et ne diffèrent que par la composition des bandes homologues; ces bandes homologues sont formées par la superposition de séries de raies semblables, et l'on est ainsi conduit à rapporter ces séries à la formule chimique du corps composé; 2° si on laisse de côté les points communs offerts par les spectres dépendant d'un même corps simple, tous ces spectres, d'origines très diverses, ont en réalité une structure commune, qui est exprimée par la loi suivante : les raies d'une même bande, et aussi les bandes d'un même spectre, lorsqu'on représente les raies par les *nombres de vibrations*, peuvent être divisées en séries semblables; chaque série étant telle que les intervalles croissent en progression arithmétique.

D'après cette loi simple, on opère trois triages successifs parmi les raies d'un spectre de bandes, et l'on peut représenter la loi de distribution des raies par une fonction simple de trois paramètres, telle que deux paramètres au moins ont les valeurs des carrés des nombres entiers.

Ainsi, pour le deuxième groupe de l'azote, la formule est

$$f(n^2p^2) \times m^2 + \mathrm{B}\,n^2 - \sqrt{\mathrm{C}p^2 + \gamma},$$

m, n, p étant des nombres entiers.

Or cette loi de distribution des raies est nettement analogue à la loi de distribution des sons d'un corps solide, qui vibre suivant ses trois dimensions. Cette dernière loi est en effet exprimée aussi par une fonction de trois paramètres m^2, n^2, p^2, qui correspondent aux trois dimensions de l'espace.

On est ainsi conduit (mais cela est une interprétation et non un résultat immédiat des faits), d'une part, à rapporter les trois classes de raies distinguées dans ces spectres aux trois dimensions de l'espace; d'autre part, à faire dépendre le nombre des séries arithmétiques des bandes de la formule chimique du corps composé qui les produit.

D'ailleurs, tous les spectres ne sont pas liés à une fonction de trois paramètres; ainsi, le spectre d'absorption de l'oxygène montre les variations de deux paramètres seulement, et le spectre de l'hydrogène, les variations d'un seul paramètre.

M. Lippmann montre des phénomènes dus à l'interférence stroboscopique de deux diapasons. Ces instruments sont munis de miroirs et vibrent parallèlement. Le premier projette sur une fente fixe A l'image nette de la fente lumineuse L de la lanterne; le second reprend l'image de la fente

A_1 et projette l'image nette de A sur un écran blanc. La netteté des images est obtenue à l'aide de deux lentilles convenablement disposées. Cela posé, si l'on met les deux diapasons en mouvement, on aperçoit sur l'écran n droites lumineuses parallèles, n étant le rapport de la durée d'une vibration double du second diapason à la durée d'une vibration simple du second. Si n est exactement un nombre entier, les n traits lumineux sont immobiles; si n est voisin d'un nombre entier, les n traits sont animés d'un mouvement lent, et l'apparence est la même que si l'on projetait sur l'écran n génératrices lumineuses équidistantes tracées sur la surface d'un cylindre qui serait soit immobile, soit animé d'un mouvement de rotation uniformément lent autour de son axe. La durée de cette rotation apparente est la même que celle de la rotation de la figure correspondante de Lissajous. M. Lippmann réalise l'expérience dans les cas où l'on obtient successivement une, deux, trois et quatre droites lumineuses.

Cette méthode s'applique à la comparaison des durées d'oscillation de deux pendules; l'expérience vérifie que, les pendules étant à peu près à l'unisson, on obtient deux traits lumineux lentement mobiles, qui se superposent aux moments où se produit une coïncidence. Cette méthode est bien plus sensible que celle de Borda.

Méthode stroboscopique pour comparer les durées de vibration de deux diapasons ou les durées d'oscillation de deux pendules; par M. Lippmann.

On peut comparer entre elles les durées de vibration de deux diapasons ou de deux pendules par un procédé très précis qui dérive de la méthode stroboscopique.

I. Soient d'abord à comparer deux diapasons D et I. On place le diapason D, muni d'un miroir, à quelque distance d'une fente d'optique A, de telle façon que les rayons émanés de A et réfléchis par le miroir viennent, après leur passage à travers une lentille, former une image nette de A sur un écran ou sur un micromètre oculaire divisé. D'autre part, la fente A, au lieu d'être constamment lumineuse, ne l'est que pendant des instants très courts, par éclairs. Pour produire ces éclairs, on se sert du deuxième diapason I; à cet effet, I est muni également d'un miroir, lequel projette sur A l'image nette d'une fente lumineuse L.

Les éclairs en A se produisent juste au moment où le diapason I passe par sa position d'équilibre. Ainsi, en appelant y

l'élongation variable de D, y' l'élongation de I, on aperçoit sur l'écran, soit une, soit plusieurs lignes lumineuses dont la position par rapport aux divisions donne les valeurs de y qui ont lieu pour les valeurs du temps qui annulent y'.

Soient T la durée d'une oscillation double de D, T′ la durée d'une oscillation simple de I. Si l'on suppose d'abord que $T = T'$, on observe sur l'écran une ligne lumineuse unique et immobile. Si $T = nT'$ (n étant un nombre entier), on observe sur l'écran n lignes lumineuses immobiles. Si $T = \frac{n}{m} T'$ $\left(n \text{ et } m \text{ étant deux nombres entiers, et la fraction } \frac{n}{m} \text{ étant irréductible}\right)$, on observe encore sur l'écran n lignes lumineuses immobiles.

Si le rapport $T : T'$, au lieu d'être égal aux nombres n ou $\frac{n}{m}$, n'en diffère que d'une quantité très petite ε, le phénomène est encore le même; seulement chacune des lignes lumineuses, au lieu d'être immobile, se déplace lentement sur l'écran, et d'autant plus lentement que ε est plus petit.

En mesurant la vitesse de ce déplacement, on obtient la vitesse avec laquelle varie la différence de phase entre les deux diapasons; par suite, on obtient très exactement la valeur du rapport $T : T'$.

La théorie du phénomène est évidente. Si la fente A était constamment lumineuse, son image a fournie par le miroir de D serait constamment visible, et cette image a aurait sur l'écran un mouvement d'oscillation rapide, trop rapide même pour être mesuré : ce mouvement serait le même que celui de la projection sur l'écran de la génératrice G d'un cylindre de révolution qui serait parallèle à l'écran, et qui tournerait autour de son axe d'un mouvement uniforme en accomplissant une révolution complète pendant le temps T. Mais la fente A n'étant éclairée que par instants, on n'aperçoit sur l'écran que des droites lumineuses g_1, g_2, ... qui sont les projections des positions G_1, G_2, ... qu'occupe la génératrice G à chaque éclair. Les intervalles de temps T′ entre les éclairs étant égaux, les génératrices G_1, G_2, ... sont équidistantes. Donc les positions des lignes g_1, g_2, ... sont d'une manière générale les projections de génératrices équidistantes tracées sur un cylindre. Les pieds des génératrices G_1, G_2, ... (leurs points

de rencontre avec la circonférence de base du cylindre) sont donc toujours les sommets d'un polygone régulier inscrit.

Si $T' = \frac{1}{n}T$, chacun des arcs G_1, G_2 étant la $n^{\text{ième}}$ partie d'une circonférence, ce polygone est un polygone régulier *convexe* de n côtés. Si $T' = \frac{m}{n}T$, ce polygone est un polygone *étoilé* de n sommets. Dans l'un et l'autre cas, les n génératrices, ou, pour mieux dire, leurs projections, apparaissent simultanément sur l'écran, grâce à la persistance des images sur la rétine, et l'aspect du phénomène est le même, que le polygone soit convexe ou étoilé. Sans cette persistance des images, on verrait que les droites g_1, g_2 apparaissent successivement, et dans le même ordre que les sommets du polygone correspondant.

Dans le cas où la fraction ε intervient, la figure obtenue est animée d'un mouvement de rotation lent, dont la vitesse est la même que celle de la figure de Lissajous qu'on obtiendrait avec les mêmes diapasons, et pour les mêmes raisons.

Dans le cas particulier où les deux diapasons sont à l'unisson, on a $T = 2T'$. On aperçoit deux traits lumineux immobiles constamment symétriques par rapport au zéro de l'échelle. Ces deux traits prennent un mouvement lent d'oscillation lorsque l'intervalle est troublé. Leur symétrie subsiste dans ce cas, et ils passent simultanément par le zéro au moment d'une coïncidence, c'est-à-dire au moment exact où les deux diapasons passent simultanément par leur position d'équilibre.

J'ai observé encore le phénomène avec les intervalles acoustiques suivants : l'observation a été chaque fois conforme à la théorie.

Diapason I.	Diapason D.	Nombre de traits lumineux observés.
ut_1	ut_2	1
ut_1	ut_1	2
sol_1	ut_1	3
ut_2	ut_1	4

On a ici, en effet, successivement, $T' = T$, $T' = 2T$, $T' = 3T$ et $T' = 4T$.

2. Deux pendules se comportent comme deux diapasons qui

vibrent lentement. Deux pendules à secondes se comportent, en particulier, comme deux diapasons qui sont à l'unisson ou qui en sont très voisins.

On peut donc les comparer en les munissant de deux miroirs et en opérant comme avec les diapasons [1].

3. On doit pouvoir, par la même méthode, comparer la durée

---

[1] M. Vogel compare deux pendules en faisant osciller l'un d'eux (D) devant une échelle divisée et en l'observant à travers une fente que le second pendule I ne découvre que par éclairs, juste au moment où ce pendule I passe par la verticale. M. Vogel mesure ainsi l'élongation y du pendule D juste au moment où l'élongation y' de I est égale à zéro : la méthode de M. Vogel est donc, en principe, la même que celle que j'ai décrite; il n'y a de différence que dans le dispositif. Mais je crois le dispositif que j'ai décrit susceptible d'une plus grande précision, et cela pour trois raisons : 1° je puis rendre les éclairs aussi courts que l'on voudra sans limiter le champ de la vision et sans altérer la netteté des images; 2° la méthode de la réflexion sur le miroir, qui est la méthode de Gauss, permet d'observer la déviation angulaire très exactement; 3° l'échelle divisée, sur laquelle se font les lectures, est visible constamment, tandis que chez M. Vogel elle n'apparaît, comme le pendule, que pendant des instants très courts.

D'autre part, M. Mercadier a fait, sur des diapasons vibrant parallèlement et dont les ombres sont projetées simultanément sur un écran, des expériences qui paraissent présenter avec les miennes une certaine analogie. Cette analogie n'est qu'apparente : les expériences de M. Mercadier sont différentes non seulement par leur dispositif, mais par leur théorie. Ce physicien obtient une série de lignes noires sur le tableau, mais les positions de ces lignes sont données par la condition que $y = y'$ et non par les valeurs que prend y pour $y' = 0$; d'ailleurs, les expériences de M. Mercadier supposent essentiellement que les amplitudes maxima des deux diapasons soient égales; celles que j'ai décrites sont indépendantes du rapport des amplitudes maxima.

On peut encore constater la différence des deux méthodes en considérant un cas particulier : si les deux diapasons ont même période, même amplitude et même phase, ils se confondent en projection, et l'expérience de M. Mercadier ne donne plus aucune raie; avec la méthode que j'ai indiquée on observe une raie unique immobile au centre du champ, comme si les diapasons étaient eux-mêmes immobiles.

On peut d'ailleurs exprimer géométriquement la relation qui existe entre les figures obtenues par Lissajous, par M. Mercadier et par moi-même, en se servant des courbes de Lissajous. Supposons une de ces courbes tracées; les ordonnées à l'origine représentent les distances au centre du phénomène des droites que j'obtiens en prenant pour diapason interrupteur celui qui vibrerait suivant l'axe des x; si le diapason interrupteur est celui qui vibre parallèlement à l'axe des y, les distances en question sont données par les abscisses à l'origine de la courbe correspondante. Enfin, pour obtenir la position des raies obtenues par M. Mercadier, il faut tracer l'une des bissectrices de l'angle des axes, et projeter sur l'un des axes de coordonnées les segments interceptés sur cette bissectrice par les courbes de Lissajous.

de vibration d'un diapason à celle d'un pendule à secondes, à condition que le rapport de ces deux durées soit égal à $n + \varepsilon$, n étant un nombre entier et ε une petite fraction : l'observation du déplacement des lignes lumineuses permettrait de déterminer ε; mais je n'ai pas encore essayé l'expérience sous cette forme. Il ne serait pas sans intérêt de pouvoir comparer *directement,* par une méthode optique, un diapason avec un pendule à secondes.

SÉANCE DU 20 MAI 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 20 mai est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Bovy, Ingénieur électricien à Bellegarde.
Carvallo, Professeur au Lycée de Versailles.
Desroziers, Ingénieur civil des Mines à Paris.
Dvořak (Dr V.), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).
Grajon (A.), Docteur en Médecine à Vierzon.
Montaud (B. de), Ingénieur civil à Aubervilliers.
Don Jose de Robles, Ingénieur agronome à Madrid (Espagne).
Salcher (Dr P.), Professeur à l'Académie impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).
Verrier (Gabriel), Ingénieur électricien, ancien élève de l'École Centrale et de l'École supérieure de Télégraphie à Paris.

A l'occasion de la Communication faite par M. Paul Rousseau de la balance de MM. Gauche et Maurice de Thierry, M. Deleuil adresse au Président une lettre dont il est donné lecture et où il cite quelques spécimens de balance à fléau court construits autrefois par lui, en particulier la balance de M. le baron Séguier pour le triage automatique des pièces de monnaie (1850). M. Gariel fait remarquer que MM. Gauche et Maurice de Thierry, en présentant cette balance, visaient plutôt l'*addition du poids dit de sensibilité* que l'emploi d'un fléau de faible longueur. Il déclare d'ailleurs ne comprendre ni la théorie ni le fonctionnement du *poids de sensibilité.*

M. H. Dufet communique à la Société les résultats d'une série de mesures effectuées sur les phosphates, arséniates et hypophosphates de soude. Il a mesuré pour chaque sel les constantes optiques et la densité.

Au point de vue du volume moléculaire, il trouve que, dans une série

de sels constitués des mêmes éléments, le volume moléculaire des composants, comme la soude, l'acide phosphorique et l'eau, dans la série des phosphates ordinaires et pyrophosphates, reste constant, tandis qu'il varie légèrement dans deux sels isomorphes. Le volume moléculaire de l'eau reste constant dans une même série, que ce soit de l'eau de constitution ou de cristallisation.

Pour les indices, on peut, dans une même série, appliquer avec une assez grande exactitude la loi de Gladstone à l'indice *médian*, moyenne des trois indices principaux du sel. L'énergie réfractive des éléments ainsi calculée reste constante dans chaque série, et varie légèrement en passant d'une série à l'autre. M. Dufet indique l'interprétation de ces faits dans l'hypothèse à laquelle conduit la loi de Gladstone, sur la constitution des corps réfringents qu'on peut considérer comme formés de molécules réfringentes plongées dans un milieu identique à l'éther du vide, et justifie la considération de l'indice médian en montrant qu'il est sensiblement indépendant de l'orientation de la molécule dans l'intérieur du corps cristallisé.

M. H. Pellat communique ses recherches sur la mesure de la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact.

On sait que les mesures électroscopiques ne fournissent que la différence de potentiel de deux métaux au contact, compliquée des différences de potentiel entre les métaux et le milieu isolant qui les entoure. D'un autre côté, le phénomène Peltier ne permet pas, ainsi qu'il l'a montré (*Journal de Physique,* t. IX, p. 122), d'obtenir la différence de potentiel de deux métaux, comme on l'a cru quelquefois. En l'absence de toute donnée positive sur cette quantité, les opinions sont partagées, certains physiciens croyant, avec Volta, qu'elle est de l'ordre de grandeur des forces électromotrices des piles hydro-électriques, d'autres croyant, avec Maxwell, qu'elle est beaucoup plus faible, de l'ordre des forces électromotrices thermo-électriques.

Voici une expérience qui donne, dans un cas particulier, la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact, et qui montre que c'est l'opinion de Volta qui est exacte.

Rappelons d'abord que la surface de contact de deux conducteurs est comparable à un condensateur, le conducteur au plus haut potentiel étant chargé d'une couche d'électricité positive, vis-à-vis de laquelle se trouve une couche égale d'électricité négative sur le conducteur au plus bas potentiel; la valeur de chacune de ces couches n'est nulle que dans le cas de l'égalité des potentiels. C'est une conséquence forcée des lois de Coulomb, comme le montre aisément le théorème de Gauss.

Considérons maintenant l'appareil suivant : Deux vases communiquants renferment du mercure; l'un A est large, l'autre B est formé par un tube presque capillaire. Un troisième vase C très large contient aussi du mercure. En B et en C le mercure est recouvert par de l'eau acidulée, et ces deux vases communiquent par un siphon rempli du même liquide. Enfin, deux fils de platine relient respectivement le mercure de C et celui de B

aux bornes d'un galvanomètre. Dans ces conditions, si l'on fait varier, même très légèrement, l'étendue de la surface de contact du mercure B et de l'eau acidulée, le galvanomètre accuse un courant, dont le sens dépend du signe de la variation. C'est là le phénomène découvert par M. Lippmann et dont l'explication n'est pas douteuse, aujourd'hui que nous connaissons l'existence des couches électriques doubles; le circuit étant fermé, la différence de potentiel entre l'eau acidulée et le mercure B est constante; si l'on fait varier l'étendue de la surface de contact, on est dans le même cas que si l'on faisait varier l'étendue des armatures d'un condensateur réunies par une force électromotrice maintenant constante leur différence de potentiel : la variation d'étendue entraînerait un courant de charge ou de décharge. Le sens du courant indique ici que le mercure est à un potentiel plus élevé que l'eau acidulée.

Or j'ai pensé qu'on pourrait annuler ces courants ou même en changer le sens, en introduisant dans le circuit une force électromotrice qui polariserait dans le sens convenable le petit mercure B, sans polariser sensiblement le large mercure C. C'est effectivement ce qui a eu lieu, et en me servant d'une force électromotrice variable à volonté et connue, j'ai trouvé ainsi que, pour $e = 0^{\text{volt}},97$, la variation de surface de contact ne donnait plus de courant. Dans ces conditions, la couche double entre le mercure B et l'eau acidulée est donc nulle; c'est-à-dire que ces deux liquides sont au même potentiel; puisque, dans le circuit fermé comprenant le galvanomètre, il n'y a pas de courant, la force électromotrice totale est nulle; par conséquent, la différence de potentiel entre le grand mercure C (non polarisé) et l'eau acidulée est égale en valeur absolue à $e\,(= 0^{\text{volt}},97)$. Le nombre trouvé ainsi est tout à fait d'accord avec celui que M. Lippmann a déterminé d'après la force électromotrice qui rend maximum la constante capillaire.

J'ai ensuite remplacé partout dans l'appareil le mercure par l'amalgame de zinc pur liquide et j'ai trouvé par le même procédé que *la différence de potentiel normale entre l'amalgame de zinc et l'eau acidulée est presque nulle* ($0^{\text{volt}},02$ dans le même sens que pour le mercure).

Enfin, j'ai construit une pile ayant pour électrodes le mercure et l'amalgame de zinc liquide séparés par de l'eau acidulée, et comme pôles des fils du platine. La force électromotrice de celle-ci était $E = 1^{\text{volt}},44$. Or, en représentant d'une façon générale par $X \mid Y$ l'excès de potentiel que présente un conducteur Y sur le conducteur X au contact avec lui, et en désignant par P, M, A, L le platine, le mercure, l'amalgame et l'eau acidulée, on a l'identité

$$E = P \mid A + A \mid L + L \mid M + M \mid P;$$

et comme

$$E = 1,44, \qquad L \mid M = 0,97, \qquad A \mid L = -0,02$$

on en tire

$$P \mid A - P \mid M = 0^{\text{volt}},49.$$

Ainsi la différence de potentiel vraie du platine et de l'amalgame de

zinc au contact (P | A) surpasse de $0^{volt},49$ la même quantité pour le platine et le mercure (P | M). Du reste, d'après la loi des tensions de Volta, on a

$$P \mid A - P \mid M = M \mid A;$$

c'est-à-dire que le mercure présente sur l'amalgame mis au contact avec ui un excès de potentiel de $0^{volt},49$.

Ainsi, dans cette pile, la différence de potentiel entre le liquide et le métal attaqué est à peu près nulle, tandis qu'elle est relativement grande soit entre le liquide et le métal non attaqué, soit entre les métaux.

M. P. Curie demande si, pendant la mesure de différences de potentiel, il n'y a pas production de sulfate de zinc. M. H. Pellat est du même avis, mais ajoute que cela ne modifierait pas les résultats.

M. E. Mercadier indique comment il a été conduit à transformer un téléphone en résonateur électromagnétique.

Le diaphragme d'un téléphone est animé de deux sortes de mouvements. D'abord les mouvements transversaux dépendant de sa forme et de sa structure et correspondant au son fondamental et aux harmoniques; ces mouvements caractéristiques d'une série *discontinue* et *limitée* de sons ne peuvent suffire pour expliquer la production et la reproduction par un téléphone d'une série *continue* et *illimitée* de sons, d'accords et de la parole avec son articulation et son timbre.

Mais il y a en outre des mouvements individuels des molécules, indépendants de la forme du diaphragme, des mouvements dits *de résonance*, qui permettent de se rendre compte de la continuité des effets téléphoniques et de la perfection avec laquelle un téléphone peut reproduire les nuances et le timbre de la voix. A ce point de vue, un diaphragme se comporte comme un corps solide, comme un mur par exemple.

En faisant prédominer l'influence de ces derniers mouvements par l'augmentation d'épaisseur du diaphragme, on augmente le degré de perfection des effets téléphoniques. En favorisant, au contraire, la production des mouvements transversaux, on produit l'effet inverse et, en particulier, on altère le timbre de la voix humaine; c'est ce qui arrive avec des diaphragmes trop minces pour le champ magnétique de l'aimant.

Mais si, sans changer l'épaisseur des diaphragmes, on les laisse libres au lieu de les encastrer sur les bords et si on les pose sur trois points de la circonférence constituant la nodale du 1er harmonique, le téléphone ainsi construit possède une propriété nouvelle : il ne renforce énergiquement que le son dont la période est la même que celle de cet harmonique : il joue, par rapport aux vibrations électromagnétiques, le même rôle qu'un résonateur par rapport aux vibrations sonores.

M. Mercadier montre les effets de deux résonateurs de ce genre construits pour renforcer le *ré*$_4$ et le *fa*$_4$.

Sur le volume moléculaire et l'énergie réfractive de quelques sels de soude; par M. H. Dufet.

Le travail dont je présente ici les résultats généraux a eu pour but d'étudier, aussi complètement que possible, un certain nombre de sels constitués des mêmes éléments, unis en différentes proportions. L'exemple le plus net présenté par la chimie minérale est celui des différents phosphates de soude, auxquels j'ai joint les arséniates, isomorphes des orthophosphates, et les hypophosphates, dont j'ai montré l'isomorphisme avec les pyrophosphates (1).

Pour chaque sel, autant du moins que cela m'a été possible, j'ai déterminé :

1° La forme cristallographique;
2° La densité;
3° Les constantes optiques.

Je n'ai rien à dire ici sur le premier point; les résultats complets se trouvent au *Bulletin de la Société de Minéralogie* (2).

La densité a été déterminée sur des cristaux très purs, triés à la loupe, et exempts autant qu'il se peut d'inclusions liquides; elle a été prise par la méthode de la balance hydrostatique, avec une balance donnant le $\frac{1}{10}$ de milligramme, dans le pétrole, par comparaison avec un fragment de spath d'Islande, toujours le même dans les expériences, et dont la densité, par rapport à l'eau à 4°, a été trouvée égale à 2,710. D'ailleurs une erreur sur ce dernier chiffre n'affecterait en rien les résultats tirés de la comparaison des densités ou des volumes moléculaires des différents sels.

Pour les propriétés optiques, j'ai déterminé pour chaque sel les indices pour la raie D, le plus souvent par la méthode de la réflexion totale, au moyen de l'appareil que j'ai décrit et figuré

(1) *Bulletin de la Société de Mineralogie*, t. IX, p. 201
(2) *Ibid.*, t. X, p. 77.

dans ce Recueil [1]; j'ai employé aussi, dans la plupart des cas, la méthode du prisme. Le même appareil m'a donné, avec une grande précision, l'angle des axes optiques pour les différentes couleurs. Connaissant les trois indices pour la raie D et les angles des axes pour diverses radiations, un seul prisme, avec l'arête parallèle ou le plan bissecteur perpendiculaire à un axe d'élasticité optique, permet d'obtenir les trois indices pour les raies du lithium et du thallium.

Le Tableau suivant contient, avec les noms et les formules des sels étudiés, leurs indices pour la raie D [2], l'angle intérieur des axes optiques et la densité. Pour les autres renseignements, je renverrai au Mémoire développé.

---

(1) *Séances de la Société de Physique*, 1886, p. 139.

(2) Le Tableau de la page 125 permet de calculer les indices pour les raies du lithium et du thallium.

SELS.	FORMULES.	SYSTÈME cristallin.	INDICES pour la raie D.			SIGNE optique.	ANGLE intérieur des axes.	DENSITÉ.
Orthophosphate trisodique.....	$3NaOPhO^5+24HO$	Hexag.	(Ord.) 1,4458		(Extr.) 1,4524	+	Uniaxe	1,6445
» disodique à 24 HO .	$2NaOHOPhO^5+24HO$	Clinorh.	1,4373	1,4361	1,4321	—	56°.43′	1,5313
» disodique à 14 HO..	$2NaOHOPhO^5+14HO$	Clinorh.	1,4526	1,4424	1,44115	+	38.50 (1)	1,6789
» monosod. à 4 HO ..	$NaO2HOPhO^5+4HO$	Orthorh.	1,48145	1,4629	1,44005	—	82.35	1,9096
» monosod. à 2 HO ..	$NaO2HOPhO^5+2HO$	Orthorh.	1,4873	1,4852	1,4557	—	29.43 (2)	2,0547
Arséniate trisodique.....	$3NaOAsO^5+24HO$	Hexag.	(Ord.) 1,4567		(Extr.) 1,4662	+	Uniaxe	1,7593
» disodique à 24 HO	$2NaOHOAsO^5+24HO$	Clinorh.	1,4513	1,44955	1,4453	—	65.13	1,6675
» disodique à 14 HO.....	$2NaOHOAsO^5+14HO$	Clinorh.	1,4782	1,4658	1,4622	+	57. 7	1,8825
» monosodique à 4 HO	$NaO2HOAsO^5+4HO$	Orthorh.	1,5265	1,50206	1,4794	+	88.50	2,3093
» monosodique à 2 HO	$NaO2HOAsO^5+2HO$	Orthorh.	1,5607	1,5535	1,5382	—	67.57	2,6700
Pyrophosphate disodique.....	$2NaOPhO^5+10HO$	Clinorh.	1,4604	1,4525	1,4499	+	60.29 (3)	1,8151
» monosodique.....	$NaOHOPhO^5+6HO$	Clinorh.	1,4649	1,4645	1,4599	—	31.56 (4)	1,8616
Hypophosphate disodique	$2NaOPhO^4+10HO$	Clinorh.	1,5036	1,4822	1,4777	+	48.56	1,8233
» sesquisodique	$\frac{1}{2}(3NaOHOPhO^4+18HO)$	Clinorh.	1,4804	1,4738	1,4653	—	82. 0	1,7427
» monosodique.....	$NaOHOPhO^4+6HO$	Clinorh.	1,5041	1,4897	1,4855	+	57.20	1,8491

(1) A 20° C., $\frac{dV}{dt}=+2,1'$.

(2) A 25° C., $\frac{dV}{dt}=+3,14'$.

(3) A 20° C, $\frac{dV}{dt}=-5,9'$.

(4) A 20° C., $\frac{dV}{dt}=-7,0'$.

Résultats relatifs aux volumes moléculaires. — Les déterminations de densité des sels précédents, faites dans des conditions aussi semblables que possible, conduisent à quelques rapprochements intéressants. En calculant le volume moléculaire, c'est-à-dire le quotient de l'équivalent par la densité, on voit que l'addition d'une molécule d'eau, *que ce soit de l'eau de constitution ou de cristallisation,* augmente le volume d'une quantité sensiblement constante dans les orthophosphates et les pyrophosphates.

En écrivant que le volume moléculaire d'un composé est égal à la somme des volumes moléculaires des composants et calculant ces derniers par la méthode des moindres carrés, on arrive aux résultats suivants :

	Equivalent.	Densité.	Volume moléculaire mesuré.	Volume moléculaire calculé.	O.—C.
Orthophosphate disodique à 24 HO....	358	1,5313	233,8	233,7	+0,1
» » 14 HO....	268	1,6789	159,6	159,8	—0,2
» monosodique à 4 HO .	156	1,9096	81,7	81,7	0
» » 2 HO .	138	2,0547	67,2	66,9	+0,3
Pyrophosphate disodique.....	223	1,8151	122,9	122,9	0
» monosodique.....	165	1,8616	88,7	89,0	—0,3

Volume moléculaire de PhO^5	25,70
» » NaO	11,62
» » HO.....	7,389

On voit qu'ici les différences sont de l'ordre des erreurs d'expérience. L'orthophosphate trisodique présente une anomalie; son volume moléculaire est notablement plus petit que le volume calculé (231,1 observé au lieu de 237,2 calculé). L'arséniate trisodique présente exactement le même phénomène.

Dans les arséniates les volumes moléculaires des composants ne paraissent pas présenter la même constance; les écarts entre l'observation et le calcul, sans être très considérables, sont plus grands que précédemment.

	Équivalent.	Densité.	Volume moléculaire mesuré.	Volume moléculaire calculé.	O.—C.
Arséniate disodique à 24HO.....	402	1,6675	242,2	242,5	—0,3
» » 14HO.....	312	1,8825	165,7	165,4	+0,3
» monosodique à 4HO.....	200	2,3093	86,6	85,1	+1,5
» » 2HO.....	182	2,6700	68,2	69,7	—1,5

Volume moléculaire de	AsO^5.....	27,94
» »	NaO.....	10,92
» »	HO.....	7,709

L'arséniate trisodique présente la même anomalie que le phosphate correspondant; son volume moléculaire, calculé avec les nombres précédents, est 245,7, tandis que l'observation donne 241,0. Ainsi, dans les deux cas, en passant du sel disodique à 24HO au sel trisodique également à 24HO, la substitution d'un équivalent de NaO à un équivalent de HO se fait avec une contraction notable.

Pour les hypophosphates disodique et monosodique la différence de leurs volumes moléculaires et de ceux des pyrophosphates correspondants est presque la même; il en résulte qu'en calculant le volume moléculaire de PhO^4 avec les résultats trouvés pour les phosphates, on arrive à des nombres suffisamment concordants.

	Équivalent.	Densité.	Volume moléculaire.	Volume moléculaire de PhO^4.	Moyenne.
Hypophosphate disodique.....	215	1,8233	117,9	20,8	21,25
» monosodique..	157	1,8491	84,9	21,7	

Le volume moléculaire de l'hypophosphate sesquisodique ne s'obtient pas très exactement avec ces nombres; en prenant pour PhO^4 21,25, on trouve pour ce dernier sel 108,9, au lieu de 111,9 mesuré.

La conclusion qui me semble devoir être tirée de ces mesures, c'est que si le volume moléculaire des composants reste constant, à quelques exceptions près, dans des séries de corps composés des mêmes éléments, il n'en est pas de même dans des corps isomorphes, la variation portant sur tous les éléments, communs ou non. Ces résultats, relatifs aux phosphates et arséniates de soude,

dont les poids moléculaires sont notablement différents, ne sont pas d'ailleurs contradictoires avec les résultats de Schiff, par exemple, constatant la presque identité des volumes moléculaires des sulfates simples ou doubles de la série magnésienne, dont les poids moléculaires sont beaucoup plus voisins les uns des autres.

Il est presque inutile de faire remarquer que les volumes moléculaires des composants, déterminés par les calculs précédents, n'ont aucun rapport avec les volumes moléculaires de ces mêmes corps à l'état isolé. Les nombres trouvés dans le calcul représentent la somme du volume occupé par les molécules du composant et de l'espace intermoléculaire. Il n'y a aucune raison *a priori* pour que ce volume reste le même dans des composés analogues. Les curieuses relations signalées par Joule et Playfair [1] entre le volume moléculaire des sels hydratés et le volume de l'eau supposée à l'état de glace, volumes qui, d'après eux, seraient égaux, subsistent, au moins d'une manière approximative, avec les nombres que j'ai obtenus.

Résultats relatifs à l'énergie réfractive. — D'après la loi de Gladstone, l'énergie réfractive spécifique $\frac{N-1}{D}$ d'un composé s'obtient par une règle de mélange à partir des énergies réfractives des composants. Si E est l'équivalent d'un corps composé de p, p', p'', ... équivalents de corps dont les équivalents sont e, e', e'', ..., cette loi conduit à l'équation

$$\frac{N-1}{D} = \frac{pe}{E}\frac{n-1}{d} + \frac{p'e'}{E}\frac{n'-1}{d'} + \ldots$$

ou, en remplaçant $\frac{E}{D}$ par le volume moléculaire V,

$$V(N-1) = p\left[\frac{e}{d}(n-1)\right] + p'\left[\frac{e'}{d'}(n'-1)\right] + \ldots.$$

En prenant pour N l'indice *médian,* c'est-à-dire la moyenne arithmétique ou géométrique (*elles se confondent pratiquement*)

---

[1] *Chem. Soc. Mem.*, t. II, p. 477, et t. III, p. 199.

des indices [1], on trouve pour $\frac{e(n-1)}{d}$ des valeurs sensiblement constantes dans une série de sels constitués des mêmes éléments, légèrement différentes en passant d'une série à l'autre. Ici les sels anomaux, tels que les phosphate et arséniate trisodiques, ne font plus exception. Les résultats ont été, dans chaque série, excepté évidemment dans la troisième, calculés par la méthode des moindres carrés.

Orthophosphates et pyrophosphates.

	Volume moléculaire.	Indice médian observé.	Indice médian calculé.	O. — C.
Orthophosphate trisodique.....	231,1	1,4480	1,4492	—0,0012
» disodique à 24HO.....	233,8	1,4352	1,4346	+0,0006
» » 14HO.....	159,6	1,4454	1,4444	+0,0010
» monosodique à 4HO...	81,7	1,4615	1,4656	—0,0041
» » 2HO...	67,2	1,4761	1,4747	+0,0014
Pyrophosphate disodique.....	122,9	1,4543	1,4523	+0,0020
» monosodique.....	88,7	1,4631	1,4635	—0,0004

$$\frac{e}{d}(n-1)\left\{\begin{array}{ll} PhO^5 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 14,355 \\ NaO \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 5,276 \\ HO \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 3,06825 \end{array}\right.$$

Arséniates.

	Volume moléculaire.	Indice médian observé.	Indice médian calculé.	O. — C.
Arséniate trisodique.....	241,0	1,4599	1,4606	—0,0007
» disodique à 24HO.....	242,2	1,4489	1,4487	+0,0002
» » 14HO.....	165,7	1,4687	1,4670	+0,0017
» monosodique à 4HO.....	86,6	1,5027	1,5053	—0,0026
» » 2HO.....	68,2	1,5508	1,5499	+0,0005

$$\frac{e}{d}(n-1)\left\{\begin{array}{ll} AsO^5 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 19,524 \\ NaO \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 5,453 \\ HO \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 3,1299 \end{array}\right.$$

---

[1] Pour les sels trisodiques qui sont uniaxes, on a pris pour l'indice médian le tiers de la somme de l'indice extraordinaire et de deux fois l'indice ordinaire.

Hypophosphates.

	Volume moléculaire.	Indice médian observé.
Hypophosphate disodique.....	117,9	1,4878
» sesquisodique.....	111,9	1,4732
» monosodique.....	84,9	1,4931

$$\frac{e}{d}(n-1)\left\{\begin{array}{ll} PhO^4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 13,17 \\ NaO \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 5,86 \\ HO \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots & 3,2625 \end{array}\right.$$

On voit par ces nombres que la quantité $\frac{e(n-1)}{d}$, c'est-à-dire ce que Gladstone a appelé l'énergie réfractive moléculaire, ne paraît pas présenter la même valeur dans les différentes séries, mais que pourtant les nombres obtenus sont voisins les uns des autres. Pour l'eau, l'énergie réfractive moléculaire déduite des indices et de la densité serait 3,00 pour l'eau liquide, 3,02 pour la glace; pour la soude, Gladstone donne le nombre 6,25. Ces nombres sont assez voisins de ceux qu'on a obtenus dans les combinaisons précédentes; mais le nombre obtenu pour l'acide phosphorique est très différent du nombre prévu, puisqu'il est moindre que l'énergie réfractive moléculaire du phosphore. La différence est beaucoup trop grande pour être attribuée à une erreur d'expérience.

On ne gagne rien en remplaçant, dans la formule de Gladstone, l'indice par la constante A de la formule de dispersion de Cauchy. En effet, la dispersion est presque la même dans ces différents sels, quelle que soit la quantité d'eau; le Tableau suivant, où l'on donne en unités du quatrième ordre décimal les différences d'indices pour les raies du lithium, du sodium et du thallium, le montre bien.

	$n_D - n_{Li}$.			$n_{Th} - n_D$.		
	Max.	Moy.	Min.	Max.	Moy.	Min.
Orthophosphate disodique à 24HO....	32	31	31	29	28	27
» » 14HO....	29	29	29,5	26	25	25,5
» monosodique à 4HO..	32,5	29	24,5	29,5	26	22,5
» » 2HO..	32	31	30	29	29	26
Pyrophosphate disodique.....	29	29	29	25	26	27
» monosodique.....	32	29	26	28	27	24
Arséniate disodique à 24HO.....	33	33	33	33	31,5	29
» » 14HO.....	36	35	35	32	31	32
» monosodique à 2HO.....	44	41	41	40	38	36
Hypophosphate disodique.....	»	33	»	»	30	»
» sesquisodique.....	35	33	31	32	31	31
» monosodique.....	35	36	33	33	30	28

La dispersion semble donc tenir surtout à la présence de l'acide, PhO^5 ou AsO^5, dont la quantité est constante, et le calcul, refait avec la constante de la formule de Cauchy, donne sensiblement le même résultat que le premier pour l'eau et la soude; les différences entre le calcul et l'observation sont plus grandes que pour le premier calcul; les erreurs, provenant de la mesure de la dispersion, s'ajoutent à celles qui proviennent de la mesure de l'indice pour la raie D.

On peut essayer d'interpréter les résultats précédents à l'aide de l'hypothèse à laquelle conduit la loi des mélanges de Gladstone. On sait que cette loi revient à considérer les corps réfringents comme constitués par des molécules réfringentes plongées dans un milieu identique à l'éther du vide. M. Mallard (1) fait remarquer que dans cette hypothèse les paramètres cristallographiques restent indépendants des constantes optiques qui résultent uniquement de la symétrie intérieure de la molécule et nullement de la position des nœuds du réseau. Dans un corps biréfringent l'ellipsoïde optique est le même que celui de la molécule; c'est ce qui résulte de l'étude faite par ce savant des effets des lames cristallines superposées (2).

---

(1) *Traité de Cristallographie*, t. II, p. 476 et 495
(2) *Ibid.*, t. II, Ch. VIII.

On peut développer ceci et justifier en même temps la considération de l'indice médian. Si plusieurs corps sont mélangés ou combinés, si l'on appelle v, v', v'' les volumes occupés par chaque espèce de molécule dans l'unité de volume du corps, et ν, ν', ν'' les indices du milieu moléculaire, l'hypothèse précédemment énoncée conduit à l'équation

$$(1) \qquad N - 1 = v(\nu - 1) + v'(\nu' - 1) + \ldots.$$

Si l'on appelle p, p', p'', ... les poids des composants pour le poids 1 du composé, δ, δ', δ'', ... les densités des molécules, D la densité du composé, on a

$$v = \frac{pD}{\delta};$$

d'où la formule de Gladstone

$$\frac{N-1}{D} = p\frac{\nu - 1}{\delta} + p'\frac{\nu' - 1}{\delta'} + \ldots.$$

La loi de Gladstone voudrait donc dire que la quantité $\frac{\nu - 1}{\delta}$ reste constante.

Dans un corps cristallisé, les molécules de même espèce chimique, les molécules d'eau par exemple, dans un corps hydraté, peuvent et doivent avoir en général plusieurs orientations différentes. On les regardera comme d'espèces différentes dans l'équation (1). Si nous considérons les vibrations qui s'effectuent suivant les trois axes d'élasticité du corps composé, nous aurons pour les inverses des vitesses de propagation, c'est-à-dire pour les trois indices principaux, les équations

$$(2) \qquad \begin{cases} N_1 - 1 = v(\nu_1 - 1) + v'(\nu'_1 - 1) + \ldots, \\ N_2 - 1 = v(\nu_2 - 1) + v'(\nu'_2 - 1) + \ldots, \\ N_3 - 1 = v(\nu_3 - 1) + v'(\nu'_3 - 1) + \ldots. \end{cases}$$

En ajoutant ces équations, on a

$$(3) \quad \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} - 1 = v\left(\frac{\nu_1 + \nu_2 + \nu_3}{3} - 1\right) + v'\left(\frac{\nu'_1 + \nu'_2 + \nu'_3}{3} - 1\right) + \ldots.$$

Le premier membre contient l'indice médian. Il est facile de

montrer que, pour chaque espèce de molécule, la quantité

$$\frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$$

est sensiblement indépendante de l'orientation.

Cette quantité représente en effet la moyenne des inverses des vitesses de propagation correspondant à trois directions de vibrations rectangulaires entre elles, c'est-à-dire la moyenne de trois rayons vecteurs de l'ellipsoïde inverse. Or, pour ces trois rayons vecteurs, ρ, ρ', ρ'', la quantité $\frac{1}{\rho^2} + \frac{1}{\rho'^2} + \frac{1}{\rho''^2}$ est constante et égale à $a^2 + b^2 + c^2$.

Comme les quantités ρ, ρ', ρ'' sont peu différentes, la valeur de $\frac{3}{\rho + \rho' + \rho''}$ diffère très peu de la quantité constante

$$\sqrt{\frac{1}{3}\left[\frac{1}{\rho^2} + \frac{1}{\rho'^2} + \frac{1}{\rho''^2}\right]}.$$

Il est facile de vérifier que ce n'est que dans le cas d'une biréfringence assez grande que la différence entre les inverses de ces deux quantités atteint le troisième chiffre après la virgule. Pour la calcite, substance exceptionnellement biréfringente, la différence entre ces deux nombres est 0,00645, l'indice ordinaire étant répété deux fois; mais, avec le quartz, cette différence tombe à 0,00002.

Il résulte de ceci que dans le second membre de l'équation (3) les quantités $\frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$ relatives à une même substance sont sensiblement indépendantes de l'orientation de la molécule et égales à l'indice médian. On peut donc appliquer aux indices médians l'équation (1).

Ce calcul n'est d'ailleurs qu'approximatif et doit s'écarter d'autant plus de la vérité que les corps sont plus biréfringents; aussi n'est-il pas étonnant de voir dans les Tableaux rapportés plus haut les plus fortes divergences se rapporter aux sels dont la biréfringence est la plus marquée.

J'ai essayé également de comparer entre elles les mesures cristallographiques. On peut toujours arriver à des relations approchées; ceci résulte d'une manière évidente du beau Mémoire de

M. Mallard [1], montrant que les réseaux cristallins de tous les corps peuvent être regardés comme pseudocubiques. De semblables comparaisons ont donc perdu beaucoup de leur intérêt, tant qu'elles restent approximatives; quant à espérer trouver des relations rigoureuses, les phénomènes, dans le cas que j'ai étudié, sont beaucoup trop compliqués et entraîneraient l'acceptation de trop d'hypothèses purement gratuites pour que j'aie cru devoir entrer dans cette voie. Il me suffit d'avoir fait des mesures que je crois assez exactes pour pouvoir, le cas échéant, servir de vérification aux hypothèses que l'étude de cas plus simples pourrait conduire à admettre.

Mesure de la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact; par M. H. Pellat.

On sait que les mesures électroscopiques ne fournissent que la différence de potentiel de deux métaux au contact, compliquée des différences de potentiel entre les métaux et le milieu isolant qui les entoure. D'un autre côté, le phénomène Peltier ne permet pas, ainsi que je l'ai montré [2], d'obtenir la différence de potentiel de deux métaux, comme on l'a cru quelquefois. En l'absence de toute donnée positive sur cette quantité, les opinions sont partagées, certains physiciens croyant, avec Volta, qu'elle est de l'ordre de grandeur des forces électromotrices des piles hydroélectriques, d'autres croyant, avec Maxwell, qu'elle est beaucoup plus faible, de l'ordre des forces électromotrices thermo-électriques.

Voici une expérience qui donne, dans un cas particulier, la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact, et qui montre que c'est l'opinion de Volta qui est exacte.

---

(1) E. Mallard, *Sur l'isomorphisme des chlorates et des azotates, et sur la quasi-identité vraisemblable de l'arrangement moléculaire dans toutes les substances cristallisées* (*Bull. de la Soc. Minéral.*, t. VII, p. 349).

(2) *Journal de Physique*, 1re série, t. IX, p. 122.

Rappelons d'abord que la surface de contact de deux conducteurs est comparable à un condensateur, le conducteur au plus haut potentiel étant chargé d'une couche d'électricité positive, vis-à-vis de laquelle se trouve une couche égale d'électricité négative sur le conducteur au plus bas potentiel : la valeur de chacune de ces couches n'est nulle que dans le cas de l'égalité des potentiels. C'est une conséquence forcée des lois de Coulomb, comme le montre aisément le théorème de Gauss (1).

L'analogie de cette couche électrique double et de celle qui se trouve sur les armatures d'un condensateur est encore plus complète dans le cas où l'un des conducteurs est un liquide électrolytique et l'autre une électrode, un métal par exemple. Dans ce cas, on peut faire varier la charge de la couche double en plaçant ces conducteurs dans un circuit contenant une force électromotrice : c'est le phénomène de polarisation. Or, si la force électromotrice de polarisation est inférieure à celle qui est nécessaire pour produire la décomposition de l'électrolyte, l'électricité ne peut passer directement de ce liquide à l'électrode; en vertu des lois de Faraday, en effet, l'électricité ne peut passer qu'en entraînant les ions avec elle. Tant qu'il n'y a pas décomposition, les phénomènes électriques sont donc les mêmes que si une lame isolante existait entre la couche électrique placée sur l'électrolyte et la couche de signe contraire placée sur l'électrode : la valeur de ces couches ne peut être modifiée que par un flux d'électricité traversant tout le circuit contenant la force électromotrice qui sert à la polarisation; les expériences de plusieurs physiciens et, en particulier, celles de M. Blondlot sur la *capacité de polarisation* ne laissent aucun doute à cet égard (2).

Considérons maintenant l'appareil suivant : Deux vases communiquants renferment du mercure; l'un A est large, l'autre B est formé par un tube presque capillaire. Un troisième vase C très large contient aussi du mercure. En B et en C le mercure est recouvert par de l'eau acidulée, et ces deux vases communiquent par un siphon rempli du même liquide. Enfin, deux fils de platine

(1) *Journ. de Phys.*, 2e série, t. II, p. 116.
(2) *Ibid.*, 1re série, t. X, p. 277, 333, 434.

relient respectivement le mercure de C et celui de B aux bornes d'un galvanomètre. Dans ces conditions, si l'on fait varier, même très légèrement, l'étendue de la surface de contact du mercure B et de l'eau acidulée, le galvanomètre accuse un courant, dont le sens dépend du signe de la variation. C'est là un phénomène découvert par M. Lippmann et dont l'explication n'est pas douteuse, aujourd'hui que nous connaissons l'existence des couches électriques doubles; le circuit étant fermé, la différence de potentiel entre l'eau acidulée et le mercure B est constante; si l'on fait varier l'étendue de la surface de contact, on est dans le même cas que si l'on faisait varier l'étendue des armatures d'un condensateur réunies par une force électromotrice maintenant constante leur différence de potentiel : la variation d'étendue entraînerait un courant de charge ou de décharge. Le sens du courant indique ici que le mercure est à un potentiel plus élevé que l'eau acidulée.

Or j'ai pensé qu'on pourrait annuler ces courants ou même en changer le signe, en introduisant dans le circuit une force électromotrice qui polariserait dans le sens convenable le petit mercure B, sans polariser sensiblement le grand mercure C. C'est effectivement ce qui a eu lieu, et, en me servant d'une force électromotrice variable à volonté et connue, j'ai trouvé ainsi que, pour $e = 0^{\text{volt}},97$, la variation de la surface de contact ne donnait plus de courant. Dans ces conditions, la couche double entre le mercure B et l'eau acidulée est donc nulle; c'est-à-dire que ces deux liquides sont au même potentiel; puisque, dans le circuit fermé comprenant le galvanomètre, il n'y a pas de courant, la force électromotrice totale est nulle; par conséquent, la différence de potentiel entre le grand mercure C (non polarisé) [1] et l'eau acidulée est égale en valeur absolue à $e(= 0^{\text{volt}},97)$. Le nombre trouvé ainsi est tout à fait d'accord avec celui que M. Lippmann a déterminé d'après la force électromotrice qui rend maximum la constante capillaire.

J'ai ensuite remplacé partout dans l'appareil le mercure par

---

[1] En réalité, ce large mercure C se polarisait très légèrement; je tenais compte de cette faible polarisation en mesurant la force électromotrice de la pile fournie par le mercure C, l'eau acidulée et un autre large mercure D, qui, n'étant jamais traversé par un courant, ne pouvait se polariser.

l'amalgame de zinc pur liquide, et j'ai trouvé par le même procédé que *la différence de potentiel normale entre l'amalgame de zinc et l'eau acidulée est presque nulle* ($0^{volt},02$ dans le même sens que pour le mercure).

Enfin, j'ai construit une pile ayant pour électrodes le mercure et l'amalgame de zinc liquide séparés par de l'eau acidulée, et comme pôles des fils de platine. La force électromotrice de celle-ci était $E = 1^{volt},44$. Or, en représentant d'une façon générale par $X \mid Y$ l'excès de potentiel que présente un conducteur Y sur le conducteur X au contact avec lui, et en désignant par P, M, A, L le platine, le mercure, l'amalgame et l'eau acidulée, on a l'identité

$$E = P \mid A + A \mid L + L \mid M + M \mid P;$$

et comme

$$E = 1,44, \qquad L \mid M = 0,97, \qquad A \mid L = -0,02,$$

on en tire

$$P \mid A - P \mid M = 0^{volt},49.$$

Ainsi la différence de potentiel vraie du platine et de l'amalgame de zinc au contact ($P \mid A$) surpasse de $0^{volt},49$ la même quantité pour le platine et le mercure ($P \mid M$). Du reste, d'après la loi des tensions de Volta, on a

$$P \mid A - P \mid M = M \mid A;$$

c'est-à-dire que le mercure présente sur l'amalgame mis au contact avec lui un excès de potentiel de $0^{volt},49$.

Ainsi, dans cette pile, la différence de potentiel entre le liquide et le métal attaqué est à peu près nulle, tandis qu'elle est relativement grande soit entre le liquide et le métal non attaqué, soit entre les métaux.

Comme un peu de sulfate de zinc pouvait se former au contact de l'eau acidulée et de l'amalgame, et qu'on pouvait craindre que ce nouveau corps pût perturber le phénomène, les mêmes expériences ont été reprises en remplaçant l'eau acidulée par une dissolution de sulfate de soude neutre qui ne peut attaquer ni le mercure ni le zinc : le nombre trouvé pour $M \mid A$ a été à peu près le même.

Enfin, il est à noter que l'amalgame de zinc liquide dont je me

suis servi dans ces expériences, employé à la place du zinc amalgamé solide, dont on se sert habituellement, dans une pile, donne à celle-ci la même force électromotrice; plus exactement, il lui donne une force électromotrice un peu supérieure, ce qui tient probablement à la plus grande pureté de l'amalgame. Il est donc légitime d'étendre les conclusions au cas du zinc amalgamé solide.

SÉANCE ANNUELLE.

RÉUNION DES MARDI 31 MAI ET MERCREDI 1er JUIN 1887,

à 8 heures très précises du soir

Machine à vapeur de MM. **Weyher** et **Richemond.**

Dynamo de MM. **Sautter** et **Lemonnier.**

Éclairage électrique par les lampes de M. **Cance.**

Expériences de soudure des métaux par l'électricité, procédé **Benardos**, breveté s. g. d. g..... **Société pour le travail électrique des métaux.**

Les expériences de soudure électrique ont été faites au moyen d'une machine Gramme appartenant à M. Pierre Legrand, fabricant de tonneaux en fer, 53, boulevard Picpus, et d'accumulateurs de M. de Montaud.

Découpage des dentelles par l'électricité..... **M. Neveur.**

(Accumulateurs de M. de Montaud.)

Appareil pour montrer les deux modes de réflexion d'un mouvement vibratoire..... **M. Violle.**

Méthode stroboscopique pour comparer les durées de vibration de deux diapasons ou les durées d'oscillation de deux pendules..... **M. Lippmann.**

Actinomètre enregistreur de M. **Crova.** — Appareil de M. **Strumbo** pour projeter la double réfraction du quartz. — Appareil de M. **Strumbo** pour montrer en projection la décomposition de la lumière, le minimum de déviation des couleurs et la recomposition de la lumière blanche. — Lanterne pour éclairage microscopique, modèle du laboratoire de M. **Pasteur,** construite suivant les indications de M. le Dr **Roux.** — Expériences de M. **Henri Becquerel** sur les variations des bandes d'absorption du spectre

des cristaux dans la lumière polarisée. — Photographies de M. **Deslandres** montrant la structure des spectres de bandes. — Appareil des réseaux de M. **Crova**. — Appareils d'interférences. — Spectroscope à vision directe pour observer verticalement ou horizontalement. — Nouvel appareil pour l'étude des anneaux colorés de M. **Baille**. — Polariscope Savart, modèle de M. **Cornu** spécialement disposé pour la polarisation atmosphérique. — Photopolarimètre de M. **Cornu**. — Effets d'illusion d'optique. — Spectres en reliefs. — Spectroscope et dispositif pour la médecine. — Prisme à vision directe grand modèle. — Nouvelle chambre claire de M. **Govi**. — Appareils de M. **Gariel** pour l'optique géométrique. Nouveau modèle de cornue pour la préparation de l'oxygène..... **Maison J. Duboscq, Ph. Pellin, succ^r.**

Monotéléphones ou résonateurs électromagnétiques..... M. **E. Mercadier.**

Électrodynamomètre absolu de M. **Pellat**. — Modèles divers de galvanomètres apériodiques **Deprez-d'Arsonval**. Électrodynamomètres et watts-mètre. — Électromètre apériodique de M. **J. Carpentier**. — Pendule entretenu électriquement. — Batteur de mesure. — Mélographe et mélotrope..... M. **J. Carpentier.**

Pyromètre thermo-électrique. — Pompe à mercure sans robinets..... M. **H. Le Châtelier.**

Appareil enregistreur pour mesurer la résistance à l'écrasement des matériaux ..... MM. **H. et L. Le Châtelier.**

Ampèremètre à mercure chambre métallique. — Ampèremètre à mercure chambre ardoise. — Rhéostats continus. — Caisse de 22 bobines-boussole, petit modèle. — Ampèremètre anneau massif et son court circuit. — Voltmètre **Thomson**. — Voltmètres circulaires. — Électromètre sphérique. — Échelle à diffusion. — Table d'électrothérapie. — Série d'excitateurs **Vigouroux**. — Vibrateurs système **Delany**. — Relais modèles **Delany**. — Commutateurs système **Delany**. — Clefs Morse **Delany**. — Polygraphe universel de **Marey**. — Thermomètre **Mascart**. — Boussole de **Kempe**. — Sismographe de M. **A. Angot**. — Enregistreur grand modèle..... **Maison Bréguet.**

Nouveau microscope polarisant..... M. **H. Dufet.**

Métronome à déclenchement et à pointages électriques. Vitesse variable. — Perfectionnement aux télégraphes et aux projecteurs optiques. — Disjoncteur électromagnétique, automatique, transformant, à distance, les courants continus de quantité en courants intermittents de grande tension. — Expérience de transformation par extra-courant.

— Télégraphe Morse avec papier au sulfate de baryte. — Appareil pour l'essai des amorces de tension par la méthode téléphonique..... **M. E. Ducretet.**

Cosmographe de M. **L. Girod.** — Appareil de M. **Colladon** pour la production et la démonstration, dans les cours, des trombes ascendantes et descendantes, présentés par..... **M. E. Ducretet.**

Amorces à projection dites *mèches Ruggieri.* — Procédés de mise du feu des trous de mine sans bourrage, avec les amorces à projection ci-dessus; trous de mine chargés à poudre, à dynamite ou autres explosifs. — Exploseurs avec isolateur de l'étincelle d'extra-courant..... **MM. Scola et Ruggieri.**

Appareil pour la démonstration expérimentale du grossissement de la loupe. — Focomètre..... **M. Mergier.**

Méthode pratique et dispositifs pour l'exécution des prismes de Nicol et de Foucault. — Saccharimètre à projection (expériences à la lumière électrique). — Appareil de polarisation et méthode pratique pour redresser le spath d'Islande et le quartz..... **M. L. Laurent.**

Épreuves de photographie obtenues sans objectif..... **M. R. Colson.**

Impression par l'électricité..... **M. Boudet de Pâris.**

Nouvel hygromètre..... **M. A. Nodon.**

Voltamètre régulateur pour 240 ampères, modèle de la ville de Paris..... **M. E. Reynier.**

Montage amovible au mercure appliqué à des accumulateurs Reynier. — Accumulateur à grand débit pour traction et propulsion..... **M. E. Blanc.**

Appareil ayant servi à l'isolement du fluor. — Bouchons en spath fluor. — Cornue pour la distillation..... **M. Moissan.**

Appareils pour l'étude des thermomètres à mercure..... **Bureau international des Poids et Mesures.**

Moteur électrique puissant et léger. — Nouveau mode de construction de l'hélice. — Commutateur à changement de marche et signal employés dans les embarcations électriques. — Appareil d'éclairage pour la micrographie et la photomicrographie..... **M. Trouvé.**

Hématoscope. — Hématospectroscope..... **M. Hénocque.**

Balance à très court fléau, à pesées rapides, à poids de sensibilité de MM. **Gouche** et **Maurice de Thierry.** — Hématoscope de M. **Maurice de Thierry.** — Appareil photographique « Le Favori ». — Laboratoire portefeuille pour photographie..... **M. Paul Rousseau.**

Transformateurs de MM. **Zipernowsky, Deri** et **Blathy**....	**Société industrielle et commerciale Edison.**
Machine Gramme type supérieur.....	**Compagnie électrique.**
Baromètre anéroïde, échelle 2^{mm} pour 1^{mm} de mercure. — Pluviomètre enregistreur à siphon. — Nouveau modèle de pluviomètre enregistreur à balance. — Actinomètres enregistreurs. — Anémomètre à cadran. — Anémomètre enregistreur. — Compteur totalisateur chronographique. — Indicateur de la vitesse du vent dans l'unité de temps. — Indicateur dynamométrique de M. **Napoli** permettant de déduire le travail développé dans le cylindre d'une machine d'une simple lecture faite sur un cadran tout en donnant le diagramme. — Indicateur de vitesse des machines à vapeur. — Appareils à cadran et enregistreurs pour mesurer et contrôler la charge et la décharge des accumulateurs électriques. — Ampèremètre de **Marcel Deprez** rendu enregistreur. — Thermomètre avertisseur. — Canne exploratrice minima et maxima et à cadran. — Appareils à cadran ou enregistreurs transmettant à distance leurs indications.....	MM. **Richard** frères
Nouveau modèle de pile domestique utilisant le zinc sous forme de bille avec dispositif pour amalgamage automatique. — Siphon s'amorçant et se désamorçant en soufflant, applicable aux piles électriques et au transvasement de tout liquide corrosif.....	M. **Radiguet.**
Appareil sténo-télégraphique.....	M. **Cassagnes.**
Sirène de Helmholtz.....	M. **V. Lefebvre.**
Soufflerie de précision pour des expériences d'acoustique.	M. **Cavaillé-Coll.**
Accumulateurs électriques.....	M. **B. de Montaud.**
Boussole à liquide avec rose à flotteur nouveau modèle...	M. **Dumoulin-Froment.**
Expériences sur la déformation des électrodes produite par la polarisation. — Élément de pile étalon au bioxyde de mercure. — Appareil pour l'étude de la diffraction de la lumière.....	M. **Gouy.**
Flotteurs indiquant les densités des couches superposées dans un liquide hétérogène	M. **Robin.**
Machine pneumatique classique à corps de pompe en cristal à graissage automatique sans huile et à mouvement de rotation continu. — Appareil à ballon de caoutchouc pour représenter l'aplatissement de la Terre. — Enregistreur pour anémomètre totalisant par heure la vitesse du vent.	M. **Demichel.**

Nouvelle pointe pour paratonnerre..... M. **Buchin.**

Expériences de M. **Ch. Weyher** sur les tourbillons aériens et les sphères tournantes (tableaux)..... M. **Ch. Weyher.**

Images photographiques représentant les effets produits dans l'air par un projectile ..... M. **E. Mach.**

Nouvel ophtalmoscope du Dr **Giraud-Teulon.** — Lunette d'essai. — Optomètres..... M. **Roulot-Giroux.**

Spectroscope à réseau de $\frac{1}{400}$ de millimètre et de 25^{mq}, soit 10000 traits. — Appareil de M. **Crova** pour les interférences des réseaux..... M. **Nodot.**

Ophtalmoscope nouveau modèle du Dr **Landolt.** — Appareil du Dr **Maklacoff** pour la mesure de la tension de l'œil.. M. **Nachet (jeune).**

Réfractomètre de M. **Bertrand**, petit modèle, servant, par une méthode rapide et simple, à déterminer à la deuxième décimale près les indices de réfraction des solides et des liquides. — Réfractomètre de M. **Bertrand**, grand modèle, pour mesurer les indices des cristaux dans les plaques minces de roches. — Pince à tourmalines nouveau modèle, avec lentille convergente et plaque de didyme. — Microscope polarisant à lumière convergente et à lumière parallèle. — Microscope polarisant à lumière convergente avec analyseur et éclaireur à grand angle d'ouverture, permettant de voir toutes les bissectrices aiguës et obtuses. — Collection de cristaux uniaxes et biaxes. — Collection de cristaux montrant les phénomènes optiques anomaux. — Rhomboèdres en verre pour la démonstration des trois dispersions. — Prisme de **Bertrand** montrant le phénomène des axes à l'œil nu. — Loupe dichroïscopique. — Collection de cristaux pour le dichroïsme. — Plaques de tourmaline. — Aiguilles de tourmaline pour la pyroélectricité. — Petits miroirs pour électromètres..... M. **Werlein.**

Photomètre de Foucault modifié par M. **Crova**, permettant de mesurer directement les intensités lumineuses sous des angles quelconques..... M. **Deleuil.**

Nouveau régulateur **Duboulet** à remontoir électrique automatique..... M. **C. Mora.**

Appareils pour l'étude de la piézo-électricité ..... M. **P. Curie.**

Métronome normal..... M. **L. Roques.**

Grand porte-lumière à mouvement rotatoire et vertical. — Héliostat à mouvement d'horlogerie construit pour l'observatoire d'Astronomie physique de Meudon. — Grand prisme pour spectroscope astronomique. — Nouveau

modèle de microscope avec éclairage d'Abbe. — Divers microscopes. — Appareils d'hématoscopie du Dr Hénocque. Prismes de Nicol, de Foucaul, de Jellett et Cornu. — Plaques de tourmaline. — Miroirs pour galvanomètres. — Divers appareils pour l'étude des interférences. — Lentilles et miroirs de Fresnel. — Compensateur à glaces parallèles de Jamin..... **M. E. Lutz.**

SÉANCE DU 17 JUIN 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.
Le procès-verbal de la séance du 6 mai est lu et adopté.

Est élu membre de la Société :

M. le Président annonce à la Société la perte qu'elle vient de faire dans la personne de M. E. Barbier, ingénieur-chimiste.

M. le Secrétaire général signale l'envoi : 1° d'une Note de M. L. Grezel *Sur l'électrolyse de l'eau;*

2° De documents de M. Delaurier pour compléter ceux qu'il a envoyés il y a peu de temps au sujet de la *destruction scientifique du grisou à mesure de sa production.*

M. le Président remercie en ces termes les personnes qui ont pris part à l'Exposition annuelle :

« Messieurs,

» Notre exposition annuelle a eu en 1887 le même éclat et a offert le même intérêt que celles des années précédentes. Peut-être avez-vous remarqué cependant que le nombre des professeurs venus de la province était sensiblement moindre que d'habitude, en raison de la date de cette exposition; nous avons dû tenter une expérience; il y aura lieu, je crois, de tenir compte du résultat qu'elle a donné.

» Nous devons reporter tout d'abord le mérite de l'organisation de notre séance annuelle à notre Secrétaire général, dont le zèle semble croître en même temps que l'expérience acquise. Nos remerciements les plus chaleureux doivent s'adresser ensuite aux éminents constructeurs, MM. Weyher et Richemond, MM. Sautter et Lemonnier, qui ont pris la généreuse habitude de nous fournir gratuitement la force motrice et la dynamo nécessaires à l'éclairage électrique de nos salles. Grâce à une entente cordiale avec le Conseil d'Administration de la Société d'Encouragement, les fon-

dations de ces machines sont maintenant fixées à demeure; nous les retrouverons l'année prochaine, et nous pouvons dire que nous avons pris racine dans ce palais où nous recevons une gracieuse hospitalité.

» Vous avez remarqué l'éclat et la fixité de notre éclairage : il était dû à M. Cance. Une magnifique expérience, celle de la soudure autogène du fer, a pu être faite sous vos yeux, grâce au concours de la Société pour le travail électrique des métaux et à l'obligeante générosité de MM. Legrand et de Montaud. Nous adressons à ces messieurs des remerciements particuliers.

» Je devrais maintenant, pour être juste, citer les noms de tous les constructeurs et de tous les savants qui ont bien voulu nous prêter leur concours. Ils ont tous un droit égal à notre reconnaissance. Qu'ils veuillent bien me pardonner d'être obligé de me borner à signaler quelques-uns d'entre eux. M. Pellin, qui soutient dignement l'honneur d'une maison et d'un nom qui nous est particulièrement cher, s'était chargé du plaisir de nos yeux; M. Carpentier a voulu charmer nos oreilles; MM. Ducretet, Laurent, Trouvé, Richard, Cassagnes, Scola et Ruggieri, la maison Breguet, j'en passe et des meilleurs, nous ont instruits par l'exposition de leurs beaux appareils. Oserai-je dire à nos savants collègues, MM. Lippmann, Violle, Mercadier, Le Châtelier, Dufet, Hénocque, Curie, quel plaisir j'ai trouvé à étudier leurs belles expériences ? Je suis véritablement heureux que l'honneur que vous m'avez fait, Messieurs, en m'appelant à présider votre Société, me donne aujourd'hui la mission d'offrir à tous nos remerciements les plus chaleureux. »

M. Pellat, dans sa Communication sur la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact, faite à la précédente séance, a oublié d'ajouter qu'il a repris ses expériences en remplaçant partout l'eau acidulée par une dissolution de sulfate de soude pure et neutre. Les résultats ont été les mêmes, aux erreurs d'expérience près. C'est la meilleure preuve que la formation du sulfate de zinc, qui se produit au contact de l'amalgame de zinc dans le cas de l'eau acidulée, ne peut pas modifier les conclusions de l'auteur pour la différence de potentiel des métaux, comme le craignait M. Curie.

M. Cornu s'est proposé de résoudre le problème suivant :

Rendre les oscillations d'un système mobile donné (balancier, lame vibrante, galvanomètre, etc.) exactement synchroniques avec un mouvement périodique également donné (battements d'une horloge, d'un relais, etc.).

Le système oscillant est soumis à l'action :

1° D'une force proportionnelle à l'écart angulaire θ; 2° d'une force perturbatrice proportionnelle à la vitesse; 3° de la force F destinée à produire le synchronisme et supposée, pour plus de simplicité, indépendante de la position du système.

L'équation différentielle du mouvement est

$$\mu \frac{d^2\theta}{dt^2} + q \frac{d\theta}{dt} + r\theta = F,$$

μ désignant le moment d'inertie du système, et l'intégrale générale de cette équation, expression du mouvement cherché, se compose de deux termes :

$$\theta = A e^{-\alpha t} \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \varphi\right) + \mathcal{J},$$

α désignant le coefficient d'amortissement et T la période du mouvement non synchronisé. Pour que cette période n'ait plus d'influence sur le mouvement, il faut et il suffit que le premier terme devienne négligeable au bout d'un temps fini ; l'analyse indique donc la possibilité de résoudre le problème à l'aide d'une *liaison synchronique,* à la condition, nécessaire et suffisante, que le mouvement libre du système soit une oscillation amortie, et le régime stable sera atteint d'autant plus rapidement que le coefficient d'amortissement sera plus considérable.

M. Cornu étudie successivement deux sortes de liaisons synchroniques :

1° Une liaison constituée par une force périodique suivant dans ses variations une loi pendulaire simple ; 2° une liaison constituée par une force périodique instantanée.

Première partie. — Si l'on veut que le régime stable du système oscillant soit un mouvement pendulaire simple, c'est-à-dire un mouvement représenté par la fonction circulaire

$$\mathcal{J} = \mathcal{B} \sin 2\pi \frac{t}{\Theta},$$

on trouve que la liaison synchronique doit être une force périodique variant aussi suivant une loi pendulaire simple de même période et pouvant être représentée, par conséquent, par la fonction

$$F = B \sin 2\pi \left(\frac{t}{\Theta} - \Phi\right).$$

Chose remarquable, il existe toujours une différence de phase entre la force F et le mouvement $\mathcal{J}$. Cette différence de phase, qui correspond toujours à un retard du mouvement synchronisé, est donnée par la formule suivante :

$$\operatorname{tang} 2\pi\Phi = \frac{2\alpha \dfrac{2\pi}{\Theta}}{\alpha^2 + 4\pi^2\left(\dfrac{1}{T^2} - \dfrac{1}{\Theta^2}\right)}.$$

Les résultats de la théorie sont vérifiés à l'aide d'un galvanomètre du

type Deprez-d'Arsonval, dont on peut faire varier le coefficient d'amortissement en introduisant dans le circuit des résistances plus ou moins considérables. La liaison synchronique est fournie par des courants induits qu'on obtient en faisant osciller à l'intérieur d'un solénoïde un aimant fixé à l'extrémité d'une lame vibrante. L'effet produit par la liaison peut être mis en évidence d'une façon fort élégante : un faisceau lumineux, émané d'un petit diaphragme circulaire, se réfracte dans une lentille liée à la lame vibrante, se réfléchit sur le miroir du galvanomètre et produit finalement sur un écran un point lumineux. Si la lame vibrante oscille seule, le point lumineux décrit sur l'écran une vibration verticale dont l'élongation représente à chaque instant, avec un retard d'un quart de vibration, la force électromotrice d'induction; les oscillations du miroir du galvanomètre, agissant seules, produiraient de même sur l'écran une vibration horizontale, et, si les deux organes se meuvent simultanément, on réalise, par la méthode de Lissajous, la composition optique du mouvement synchronisé et de la variation de la force synchronisante. On voit sur l'écran une ellipse qui, après s'être déformée pendant quelques instants, garde une position fixe dans laquelle le retard entre les composantes horizontale et verticale est égal, à un quart de vibration près, au retard Φ. La disposition expérimentale permettant de faire varier α, ainsi que la différence des périodes T et Θ, dans de larges limites, on peut vérifier jusque dans ses moindres détails les indications de la théorie.

Deuxième partie. — Dans l'étude d'une liaison synchronique constituée par une force instantanée périodique, M. Cornu distingue deux cas, dans chacun desquels il suppose les périodes T et Θ peu différentes.

Premier cas : l'oscillation primitive est non amortie. — Il ne doit pas y avoir de synchronisation possible, mais la théorie indique que les amplitudes successives des oscillations varient comme les rayons vecteurs d'un mobile qui décrirait, d'un mouvement uniforme, un cercle excentrique par rapport au pôle; le système oscillant exécute de véritables battements.

Second cas : l'oscillation primitive est faiblement amortie. — Une oscillation de ce genre peut être représentée par une spirale logarithmique rapportée à des axes de coordonnées obliques et supposée décrite par un mobile fictif avec une vitesse angulaire uniforme : l'abscisse de ce mobile représente à chaque instant l'élongation, et l'ordonnée, la vitesse de l'oscillation considérée. Si une force instantanée périodique est appliquée à une pareille oscillation, les amplitudes successives varient comme les rayons vecteurs d'une autre spirale logarithmique excentrique par rapport à l'origine des coordonnées et supposée décrite avec une vitesse angulaire constante.

Pour vérifier expérimentalement ces indications de la théorie, on s'est servi d'un lourd pendule battant *à peu près* la seconde, dont les oscillations peuvent être plus ou moins amorties par le passage d'un aimant fixé

au pendule au travers d'un solénoïde fermé. Un autre aimant, fixé également au pendule, sert à développer dans un autre solénoïde des courants d'induction qu'on envoie dans un galvanomètre Deprez-d'Arsonval, de telle sorte que les élongations de ce dernier reproduisent, avec un retard qu'on peut rendre négligeable, les vitesses du pendule. La composition optique de ces deux mouvements, s'ils ont même amplitude, fournirait la spirale logarithmique représentative du mouvement du pendule.

Ceci posé, la force synchronisante est produite par l'action d'un courant électrique envoyé toutes les deux secondes par une horloge astronomique et, au même instant, l'image d'une étincelle d'induction, réfléchie sur le miroir du pendule et sur celui du galvanomètre, est fixée sur une plaque photographique. La succession de ces images dessine, conformément à la théorie, une spirale logarithmique.

M. Cornu termine en projetant devant la Société l'image des clichés qu'il a ainsi obtenus.

M. Mathias communique, au nom de M. Cailletet et au sien, les résultats des recherches qu'ils ont faites sur la densité de l'acide sulfureux à l'état de liquide et de vapeur saturée.

Cette étude a pour but de généraliser, en l'appliquant à un corps à point critique élevé, la méthode qui avait été précédemment appliquée à l'éthylène, au protoxyde d'azote et à l'acide carbonique.

I. Le point de départ est la mesure de la densité de vapeur saturée. L'appareil employé est celui qui a servi aux recherches précédentes; on a dû modifier seulement les procédés de chauffage, de façon à atteindre le point critique de l'acide sulfureux (156°) par des élévations successives et à maintenir la température constante pendant chaque expérience.

L'expérience a montré que cette méthode est applicable à température élevée, et son exactitude n'est limitée que par la présence de la vapeur de mercure dont la tension ne devient sensible qu'au-dessus de 200°.

II. La densité de l'acide sulfureux liquide a été étudiée par la méthode thermométrique. Les thermomètres employés sont à parois épaisses, de façon qu'au point critique, bien que la pression soit d'environ 79^{atm}, l'augmentation du volume sous l'influence de la pression intérieure n'atteigne pas $\frac{1}{2000}$.

Le poids total du liquide et de la vapeur est donné par la pesée du thermomètre vide et plein; la correction *exacte* du poids de la vapeur se déduit aisément de la connaissance de son volume et de sa densité déterminée préalablement. On étudie ainsi la densité du liquide jusqu'au voisinage immédiat du point critique.

Ces expériences montrent, une fois de plus, que la densité du liquide et celle de la vapeur ont une limite commune qui est 0,520 pour l'acide sulfureux. Elles prouvent aussi que la méthode du thermomètre métasta-

tique, préconisée par Drion, n'élimine pas complètement l'erreur due à la vaporisation du liquide thermométrique, surtout à haute température.

Le calcul des coefficients de dilatation montre que, dans le demi-degré qui précède le point critique, le coefficient *moyen* est égal environ à 200 fois le coefficient de dilatation des gaz, le coefficient *vrai* devenant infini au point critique.

La connaissance des deux sortes de densités de SO^2 a permis le calcul de la chaleur latente de vaporisation par la formule connue de la Thermodynamique. On retrouve ainsi très sensiblement, pour la température de 0°, le nombre obtenu expérimentalement par M. Chappuis.

Si l'on assimile les vapeurs saturées aux gaz ordinaires, et qu'on essaye de calculer leurs densités par les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, on trouve pour C^4H^4, CO^2, SO^2 des résultats beaucoup trop faibles, de telle sorte qu'il est impossible de formuler une relation même approchée entre les densités calculées et les densités observées. Seul, le protoxyde d'azote donne, au-dessous de — 10°, des densités calculées plus fortes que les densités observées. Ce fait, rapproché de la divergence extrême offerte par les mesures de tension de vapeur des différents expérimentateurs, paraît expliqué par la difficulté que l'on a à se procurer ce gaz à l'état de pureté.

Sur la condition de stabilité du mouvement d'un système oscillant soumis à une liaison synchronique pendulaire;

par M. A. Cornu.

Dans l'établissement de certains dispositifs de haute précision usités en Physique ou en Astronomie, on est conduit au problème suivant :

Rendre les oscillations d'un système mobile donné (balancier, lame vibrante, galvanomètre, etc.) *exactement synchroniques avec un mouvement périodique également donné (battements d'une horloge, d'un relai,* etc.).

Le système oscillant à *synchroniser* est, en général, un solide invariable soumis à l'action :

1° D'une force principale proportionnelle à l'écart;
2° D'une force perturbatrice proportionnelle à la vitesse;
3° D'une force additionnelle, constituant la *liaison synchro-*

nique, dont l'intensité est périodique et que, pour simplifier, nous supposerons indépendante de la position du système.

L'équation différentielle du mouvement est

$$(1) \qquad \mu \frac{d^2\theta}{dt^2} + q\frac{d\theta}{dt} + r\theta = F,$$

θ représentant l'écart angulaire du système; μ le moment d'inertie; q et r les moments des deux premières forces correspondant à l'unité de vitesse angulaire et d'écart; F le moment de la liaison synchronique fonction du temps seulement.

L'intégrale générale de cette équation, expression du mouvement cherché, se compose de la somme de deux termes

$$(2) \qquad \theta = \mathcal{A} e^{-\alpha t} \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \varphi\right) + \mathcal{F}, \qquad \begin{cases} \alpha = -\dfrac{q}{2\mu}, \\ \dfrac{2\pi}{T} = \sqrt{\dfrac{r}{\mu} - \left(\dfrac{q}{2\mu}\right)^2}. \end{cases}$$

Le premier terme, solution de l'équation (1) sans second membre ($\mathcal{A}$ et φ étant les deux constantes arbitraires de l'intégration), représente une oscillation dont l'amplitude *s'amortit* avec le temps; le second, $\mathcal{F}$, est une solution particulière de l'équation complète. Le mouvement définitif est donc la superposition de l'*oscillation amortie* que le système prendrait si la liaison synchronique n'existait pas et d'un mouvement qui dépend de la loi qui lie l'intensité de la force synchronisante avec le temps.

Le problème proposé consiste à chercher s'il est possible de faire coïncider ce mouvement résultant avec une fonction périodique $\mathcal{F}$ dont la période Θ est différente de la période T de l'oscillation propre du système.

La présence du premier terme, représentant l'oscillation amortie de période T, montre que cette coïncidence n'est possible qu'après un temps suffisamment long, lorsque l'exponentielle négative est devenue sensiblement nulle ; mais qu'après cet intervalle le mouvement du système peut être identifié avec un mouvement quelconque $\mathcal{F}$ de période Θ compatible avec la condition de vérifier l'équation (1); d'où l'on conclut :

Pour qu'un système oscillant puisse être synchronisé, il faut et il suffit que le mouvement libre du système soit une oscillation amortie : le régime stable est d'autant plus rapidement atteint que l'amortissement est plus grand.

Cas d'une force périodique suivant la loi pendulaire simple. — Parmi les mouvements périodiques qu'on peut se proposer d'imposer au système oscillant, le plus simple au point de vue de la théorie aussi bien que de la convenance expérimentale est le mouvement *pendulaire simple* ou *oscillation non amortie.* Cherchons donc à quelles conditions doit satisfaire la liaison synchronique F pour donner au système oscillant un régime stable représenté par la fonction circulaire

$$\mathcal{F} = \mathfrak{B} \sin 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \psi\right). \tag{3}$$

Il suffit de substituer dans l'équation (1) $\theta = \mathcal{F}$; on en déduit

$$\left\{\begin{aligned} F = \mathfrak{B} \Big[&\left(r - \mu \frac{4\pi^2}{\theta^2}\right) \sin 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \psi\right) \\ &+ \frac{2\pi}{\theta} q \cos 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \psi\right)\Big] = B \sin 2\pi \left(\frac{t}{\theta} - \Phi\right). \end{aligned}\right. \tag{4}$$

La force synchronisante est donc aussi une fonction circulaire du temps caractérisée par une amplitude B et une phase Φ qu'on détermine par une identification facile; on trouve ainsi

$$\left\{\begin{aligned} B &= \mathfrak{B} \sqrt{\left(r - \mu \frac{4\pi^2}{\theta^2}\right)^2 + \frac{4\pi^2}{\theta^2} q^2} \\ &= \mathfrak{B} \mu \sqrt{\left[\alpha^2 + 4\pi^2 \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{\theta^2}\right)\right]^2 + 4\alpha^2 \frac{4\pi^2}{\theta^2}}, \end{aligned}\right. \tag{5}$$

$$\operatorname{tang} 2\pi(\Phi - \psi) = \frac{-\frac{2\pi}{\theta} q}{r - \mu \frac{4\pi^2}{\theta^2}} = \frac{2\alpha \frac{2\pi}{\theta}}{\alpha^2 + 4\pi^2 \left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{\theta^2}\right)}. \tag{6}$$

Ces expressions permettent de conclure les paramètres B, Φ de la force synchronisante en fonction de ceux du mouvement $\mathfrak{B}$, ψ, ou inversement. La formule (6) montre que $(\Phi - \psi)$ ne peut être

nulle que si le coefficient d'amortissement α est égal à zéro ; d'où l'on conclut :

Lorsque la force synchronisante et le mouvement synchronisé sont représentés par la loi pendulaire simple, il existe toujours une différence de phase, entre la force et le mouvement : cette différence de phase, conséquence de l'amortissement, correspond toujours à un retard du mouvement synchronisé.

Cas d'une force périodique quelconque. — On peut, sans calcul nouveau, obtenir le mouvement, en régime stable, dû à une force variable quelconque F dont la période est Θ. On sait que l'expression de cette force en fonction du temps est, en général, développable par la série de Fourier et peut être mise sous la forme

$$(7)\quad \begin{cases} F = B_1 \sin 2\pi\left(\dfrac{t}{\Theta} - \Phi_1\right) \\ \qquad + B_2 \sin 2\pi\left(\dfrac{2t}{\Theta} - \Phi_2\right) + \ldots + B_n \sin 2\pi\left(\dfrac{nt}{\Theta} - \Phi_n\right) + \ldots. \end{cases}$$

Le second membre F de l'équation différentielle (1) se composera donc d'une somme de termes ayant la même forme que ci-dessus : le terme F de l'intégrale générale sera la somme de termes $\mathcal{F}_1$, $\mathcal{F}_2$, ..., $\mathcal{F}_n$ assujettis seulement à vérifier individuellement l'équation (1); des expressions (5) et (6) on déduira donc aisément les paramètres du terme général en y changeant B en B_n, $\mathfrak{B}$ en $\mathfrak{B}_n$, Φ en Φ_n et Θ en $\dfrac{\Theta}{n}$.

On voit alors que chaque terme périodique de la force produit un effet périodique correspondant sur l'amplitude et la phase du mouvement résultant, mais que cet effet va en décroissant rapidement avec l'ordre n, car les termes successifs contiennent n^2 ou n^4 au dénominateur : cette circonstance permet, dans diverses applications, de réduire la série à ses premiers termes ou d'utiliser les développements peu convergents représentant certaines fonctions discontinues.

Vérification expérimentale des résultats précédents. — Il importe de vérifier entre des limites aussi étendues que possible les résultats ci-dessus, particulièrement en ce qui concerne l'influence de l'amortissement sur l'établissement du régime stable, sur la phase et l'amplitude du mouvement définitif : on y parvient en utilisant les phénomènes d'induction.

Si l'on ferme le circuit d'un galvanomètre par un solénoïde au voisinage duquel oscille un aimant, on réalise toutes les conditions étudiées ci-dessus : on retrouve en effet le système oscillant (aimant mobile, dans un cadre fixe ou cadre mobile devant un aimant fixe) soumis aux trois forces précitées : couple principal proportionnel à l'écart (action terrestre ou torsion), couple d'amortissement (réactions électromagnétiques du cadre et de l'aimant) et liaison synchronique constituée par l'action du courant induit dans le solénoïde.

Pour faire les vérifications dans les conditions les plus concluantes, on construit un galvanomètre du type Deprez-d'Arsonval, dont le cadre très léger, suspendu à un fil de torsion assez gros, présente une période d'oscillation à circuit ouvert d'environ $\frac{1}{7}$ de seconde : ce galvanomètre, fermé en court circuit, possède un coefficient d'amortissement considérable ; mais, lorsqu'on introduit dans le circuit des résistances croissantes, le coefficient d'amortissement diminue de plus en plus : on démontre qu'il varie sensiblement en raison inverse de la résistance totale du circuit [1].

---

[1] Soient c le couple de torsion du cadre, q' le coefficient de la résistance de l'air et i l'intensité du courant qui parcourt le cadre (n tours, s aire moyenne, f intensité du champ magnétique) ; on a, pour l'équation différentielle du mouvement du cadre,

$$\mu \frac{d^2\theta}{dt^2} + q' \frac{d\theta}{dt} + c\theta = fnsi \qquad \text{avec} \qquad i = \frac{\Sigma E}{R},$$

R étant la résistance *totale* du circuit. La somme des forces électromotrices ΣE se compose de $F(t)$ développée par l'aimant dans le solénoïde, $-fsn\frac{d\theta}{dt}$ développée par le déplacement du cadre, et $-L\frac{di}{dt}$ par l'induction des spires sur

L'aimant inducteur est fixé transversalement à une lame vibrante munie de curseurs pouvant faire varier la période d'oscillation entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{2}$ seconde. Le solénoïde induit est formé d'une torsade de dix fils isolés identiques, ayant chacun une résistance égale à celle du galvanomètre : cinq d'entre eux sont réunis en *quantité* (circuit C_1) et cinq en *tension* (circuit C_2).

Il s'agit de comparer le mouvement du cadre du galvanomètre avec la force périodique qui le sollicite, c'est-à-dire avec l'intensité du courant induit, et de vérifier si les lois mathématiques exprimées ci-dessus s'appliquent exactement. Une telle vérification serait assez complexe si l'on voulait déterminer séparément ces deux éléments en fonction du temps : elle devient, au contraire, intuitive si l'on a recours à la *composition optique* des oscillations de l'aimant et du galvanomètre. A cet effet, la lame vibrante, qui est verticale, porte un bras horizontal muni d'une petite boule d'acier poli ; le point brillant qui s'y forme oscille pendulairement suivant une petite ligne verticale; avec une loupe on en observe l'image réelle, réfléchie sur le miroir concave du galvanomètre; on obtient ainsi une ligne lumineuse dont chaque point a pour abscisse verticale le mouvement pendulaire de l'aimant, et pour ordonnée horizontale la déviation du galvanomètre. Le choix de la durée d'oscillation, voisin de $\frac{1}{7}$ de seconde, permet une persistance visuelle suffisante pour donner l'impression d'une ligne continue sans empêcher cependant de reconnaître le sens de la description de la courbe. Voici les principales expériences (¹) qu'on peut faire avec ces deux appareils et une boîte de résistances auxiliaires :

---

elles-mêmes; d'où

$$Ri = F(t) - fsn\frac{d\theta}{dt} - L\frac{di}{dt};$$

comme on peut négliger le coefficient L de self-induction du système, l'élimination de i est immédiate et l'on trouve

$$\mu\frac{d^2\theta}{dt^2} + \left(q' + \frac{f^2s^2n^2}{R}\right)\frac{d\theta}{dt} + c\theta = \frac{fsn}{R}F(t).$$

Le coefficient d'amortissement du galvanomètre est donc représenté par

$$\alpha = -\frac{1}{2\mu}\left(q' + \frac{f^2s^2n^2}{R}\right).$$

(¹) Les appareils ont fonctionné sous les yeux de la Société de Physique en pro-

1° *Influence de la grandeur de l'amortissement sur la durée du régime variable.* — On ferme le circuit du galvanomètre par l'un des circuits du solénoïde, de préférence par celui dont la résistance est la plus faible (circuit C_1), et l'on met l'aimant en oscillation : l'image atteint presque aussitôt une figure permanente; le régime variable ne dure donc que quelques instants, et le régime stable persiste ensuite indéfiniment.

Les périodes d'oscillation de l'aimant et du galvanomètre n'ont pas besoin d'être très voisines; elles peuvent différer de 10, 20 pour 100 et même davantage, sans que la synchronisation cesse d'avoir lieu rapidement, grâce à la grandeur du coefficient d'amortissement du galvanomètre fermé sur une faible résistance.

Si l'on introduit progressivement dans le circuit des résistances auxiliaires, la durée du régime variable augmente parce que l'amortissement diminue (en raison inverse de la résistance totale), mais le régime stable finit toujours par s'établir. Cependant, avec les grandes résistances, la durée du régime variable serait si longue qu'il deviendrait nécessaire, pour en observer la fin, d'entretenir les oscillations de la lame vibrante.

2° *Forme de la courbe : cas de l'ellipse.* — La forme de la courbe dépend de la distribution magnétique de l'aimant et des trajectoires de ses points : on obtient des courbes particulières avec un aimant gros et court. Mais avec une aiguille mince et longue, dont l'extrémité décrit un élément d'axe du solénoïde, on obtient, comme dans les expériences de Lissajous, une ellipse parfaitement régulière; on peut même la transformer sensiblement en un cercle en réglant l'intensité magnétique de l'aiguille ou la longueur du bras qui porte le point brillant.

Ce résultat est une vérification des lois précédentes : on sait, en effet, que la force électromotrice d'induction, et par suite l'intensité dans le circuit, sont proportionnelles à la vitesse du pôle d'aimant qui se déplace axialement dans l'intérieur d'un solénoïde

---

jetant l'image du point lumineux mobile : pour obtenir une intensité lumineuse suffisante, la petite boule d'acier poli était remplacée par une lentille à court foyer bordée d'un large écran circulaire sur laquelle on faisait tomber un faisceau de lumière électrique.

suffisamment long. Le déplacement du pôle étant pendulaire, l'intensité du courant ou la force synchronisante proportionnelle à la dérivée du déplacement par rapport au temps suit donc aussi la loi pendulaire simple, mais avec un quart de période comme différence de phase inhérente aux arguments de la fonction circulaire et de sa dérivée. La forme elliptique de la courbe prouve que, conformément aux résultats ci-dessus, le déplacement du système synchronisé suit la même loi pendulaire que la force synchronisante.

3° *Influence de la grandeur de l'amortissement sur la différence de phase. Deux cas extrêmes.* — La discussion de l'expression de $\Phi - \psi$ (6) montre que la variation du coefficient d'amortissement α agira d'une manière différente suivant la grandeur relative de α^2 et de $4\pi^2\left(\frac{1}{T^2} - \frac{1}{\theta^2}\right)$. On peut donc distinguer deux cas extrêmes.

a. La différence des périodes est grande : α devient négligeable devant l'autre terme, α n'intervient plus qu'au numérateur, et alors la différence de phase varie dans le même sens que l'amortissement. L'expérience montre en effet que, si l'on supprime progressivement les résistances auxiliaires du circuit, l'ellipse s'incline de plus en plus sur la diagonale du rectangle circonscrit. L'effet devient très démonstratif si, par un artifice convenable, on rend constant le rectangle circonscrit; on y parvient en augmentant la force électromotrice proportionnellement à la résistance totale du circuit : l'intensité du courant n'est pas modifiée, mais α varie en raison inverse de la résistance. C'est dans ce but que les deux circuits C_1 et C_2 du solénoïde ont été préparés : si, pendant l'oscillation de l'aimant, on substitue, par le jeu d'un commutateur, l'un des circuits à l'autre, on voit l'ellipse, presque verticale dans le circuit en tension C_2, s'incliner sur la diagonale avec le circuit en quantité C_1.

b. Si, au contraire, les deux périodes sont très voisines, c'est le terme en α^2 qui prend l'importance au dénominateur, ce qui tend à renverser son influence, car α est en facteur au numérateur. Aussi, contrairement au cas précédent, c'est avec les grandes

résistances que l'ellipse s'incline le plus sur la diagonale du rectangle. Toutefois, le phénomène est moins simple, parce que l'amplitude B du galvanomètre (côté horizontal du rectangle) grandit beaucoup, ainsi qu'on le voit à l'inspection de (5).

4° *Influence de la différence des périodes sur la différence de phase.* — Lorsque l'amortissement est faible, la différence de phase (6) est petite : mais on peut accroître cette différence en faisant varier convenablement la différence des périodes : l'expression $\operatorname{tang} 2\pi(\Phi - \psi)$ devient même infinie pour une valeur de T voisine de Θ, ce qui rend la différence de phase égale à $\frac{1}{4}$, laquelle, ajoutée à la fraction $\frac{1}{4}$, inhérente au dispositif, produit $\frac{1}{2}$. L'ellipse se réduit alors à une diagonale du rectangle.

L'expérience vérifie de tout point ces conclusions; il suffit, toutes choses égales d'ailleurs, de faire marcher le curseur progressivement dans le même sens : l'ellipse stable s'aplatit de plus en plus, devient une droite et reparaît au delà, mais avec un sens de description inverse.

Sur la synchronisation d'une oscillation faiblement amortie. Indicatrice de synchronisation représentant le régime variable; par M. A. Cornu.

La théorie exposée dans l'article précédent permet de traiter les cas les plus divers qui peuvent se présenter et de prévoir toutes les circonstances du régime variable aussi bien que du régime stable qui le suit. Mais la forme analytique sous laquelle elle est exposée, si bien appropriée au cas où la force synchronisante est une fonction *continue* du temps, offre quelques difficultés lorsque la force est discontinue, à cause de l'emploi de la série de Fourier et du nombre considérable de termes nécessaires à la représentation exacte de ce genre de fonctions. Ce cas d'une fonction discontinue est cependant fort important dans les applications (notamment à l'horlogerie) où l'on utilise une action presque instantanée pour produire la synchronisation.

Il paraît donc utile de le considérer à part et de le traiter par une méthode spéciale, sauf à vérifier la concordance des résultats.

Nous prendrons comme types les conditions suivantes, qui répondent à certains problèmes pratiques :

1° *Le système oscillant est soumis périodiquement à l'action d'une force instantanée très petite;*

2° *La période* Θ *de cette force diffère peu de la période* T *d'oscillation libre du système;*

3° *Le coefficient d'amortissement de l'oscillation est très faible.*

(Nous appellerons *force instantanée* une force agissant pendant un temps assez court pour qu'on puisse négliger le déplacement du système pendant la durée de l'application de cette force : elle est *très petite* lorsqu'elle ne produit qu'une variation relative très petite de la vitesse; enfin nous dirons que le *coefficient d'amortissement* est *très faible* lorsqu'on peut négliger devant l'unité le carré du produit αT de ce coefficient par la période T d'oscillation libre.)

La méthode que nous emploierons est fondée sur la représentation géométrique d'un mouvement quelconque par une courbe dont chaque point a pour abscisse le déplacement à une époque donnée et pour ordonnée une longueur proportionnelle à la vitesse au même instant. Ce mode de représentation, suggéré par les propriétés de l'oscillation pendulaire simple (dont la courbe représentative coïncide avec un cercle lorsque le facteur de proportionnalité de la vitesse $K = T : 2\pi$), s'applique d'une manière particulièrement élégante à l'oscillation amortie. Dans ce cas, les axes de coordonnées sont obliques : leur angle ζ et le coefficient de proportionnalité sont respectivement donnés par

$$\text{(8) et (9)} \qquad \operatorname{tang}\zeta = \frac{2\pi}{\alpha T}, \qquad K = \frac{T \sin\zeta}{2\pi}.$$

La courbe représentative est une spirale logarithmique dont le rayon vecteur coupe la courbe sous l'angle ζ et se déplace avec la vitesse angulaire constante $2\pi : T$ [1].

---

[1] On démontre aisément tous ces résultats en identifiant les valeurs de l'abscisse x et de l'ordonnée y d'une spirale logarithmique $\rho = Ae^{-\beta\omega}$ (ω étant compté à partir de l'axe des y), rapportée à des coordonnées obliques d'angle ζ

Il résulte de ce mode de figuration qu'une oscillation quelconque, pendulaire ou amortie, est représentée par un *vecteur*, c'est-à-dire par une droite ρ issue d'une origine fixe mesurant l'amplitude à l'époque t et faisant avec une direction fixe un angle $\omega = \frac{2\pi t}{T}$, mesurant le temps écoulé depuis un déplacement nul. On peut ainsi utiliser toutes les relations simples que fournit la *composition* des vecteurs.

1° *Force instantanée périodique appliquée à une oscillation pendulaire simple.* — Considérons d'abord le cas extrême où l'amortissement est nul : à une époque donnée, représentée par l'angle $\omega = yOM$ (*fig.* 1), l'oscillation étant figurée par le vecteur OM (dont l'abscisse OP mesure le déplacement et l'ordonnée PM, divisée par K, la vitesse), la force instantanée accroît brusquement la vitesse PM de MM′, sans que le déplacement OP soit modifié ; l'oscillation subséquente est représentée par la projection du point M′ qui décrit le cercle de rayon OM′ d'un mouvement uniforme tel que, après le temps T, le point M′ revient en M′ et le dépasse si le système reste libre.

Mais, au bout du temps Θ (la figure suppose $\Theta > T$), lorsque M′ est arrivé en M_1, une nouvelle percussion a lieu qui ajoute à l'ordonnée de M_1 l'accroissement constant $M_1M'_1 = u$, et ainsi de suite. On voit que, à chaque percussion, l'amplitude OM et la

---

avec le déplacement θ et la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ multipliée par le facteur indéterminé K

$$\theta = \mathfrak{A} e^{-\alpha t} \sin 2\pi \frac{t}{T}, \qquad \frac{d\theta}{dt} = \mathfrak{A} e^{-\alpha t}\left(-\alpha \sin 2\pi \frac{t}{T} + \frac{2\pi}{T} \cos 2\pi \frac{t}{T}\right)$$

(l'origine du temps coïncidant avec une époque où le déplacement est nul) ; on a à identifier

$$\left.\begin{aligned} x &= 0, \\ y &= k\frac{d\theta}{dt} \end{aligned}\right\} \quad \text{avec} \quad \frac{x}{\sin\omega} = \frac{y}{\sin(\zeta - \omega)} = \frac{\rho}{\sin\zeta};$$

on trouve

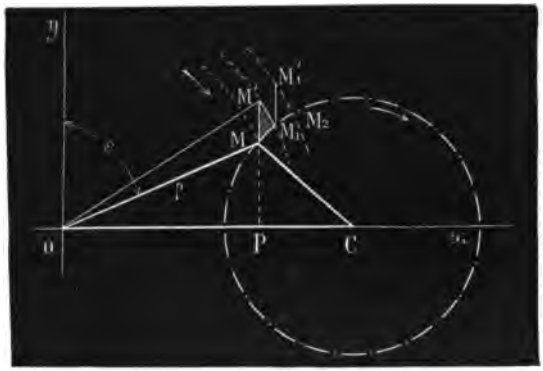
$$\beta = \alpha, \qquad \omega = 2\pi\frac{t}{T}, \qquad A = \mathfrak{A}\sin\zeta,$$

ainsi que (8) et (9). (Voir *Annales de l'Observatoire,* Mémoires, t. XIII, p. A. 161.)

phase sont modifiées de quantités différentes suivant l'angle ω, ce qui constitue un régime variable pour le mouvement oscillatoire du système.

Ce régime variable serait entièrement défini si l'on connaissait la loi de variation avec le temps de l'amplitude et de la phase. Le mode actuel de représentation, qui peint si bien les altérations élémentaires dues à chaque percussion, fournit aussi une image très simple du régime variable. En effet, cherchons le lieu du point M et la vitesse moyenne avec laquelle ce point s'y déplace;

Fig. 1.



grâce aux hypothèses admises sur la petitesse relative de l'accroissement de la vitesse et de la différence des périodes, on peut traiter les longueurs $MM' = u$ et $M'M_1 = \rho(\Theta - T)\frac{2\pi}{T}$ comme des différentielles, l'élément de temps étant la période Θ. Joignant MM_1, on forme un triangle infinitésimal dont les côtés MM' et $M'M_1$ sont respectivement perpendiculaires à OP et OM; si l'on mène la droite MC perpendiculaire au troisième côté MM_1, on obtient un triangle fini COM qui reste toujours semblable au premier; les relations de similitude donnent

$$(10)\qquad \frac{M'M_1 = 2\pi\rho\dfrac{\Theta - T}{T}}{OM = \rho} = \frac{M'M = u}{OC} = \frac{MM_1}{MC},$$

$$\text{d'où}\quad \begin{cases} OC = \dfrac{uT}{2\pi(\Theta - T)}, \\ \dfrac{1}{\Theta}\dfrac{MM_1}{MC} = \dfrac{2\pi}{T}\dfrac{\Theta - T}{\Theta}. \end{cases}$$

Ainsi le côté OC est constant; la normale à l'élément MM_1 passe donc toujours par un point fixe : le lieu cherché est donc un cercle. En outre, le rapport au rayon CM de l'arc MM_1, censé décrit pendant la période Θ, est constant.

Si, pour abréger, on désigne sous le nom d'*indicatrice de synchronisation* le lieu précédent, qui définit la loi de variation avec le temps de l'amplitude et de la phase pendant le régime variable, on en conclura :

Dans le cas de l'oscillation pendulaire simple de période T, *modifiée par une force instantanée u de période* Θ, *peu différente de* T, *l'indicatrice de synchronisation est un cercle dont le centre, situé sur l'axe représentatif des déplacements à une distance de l'origine égale à* $\frac{u}{2\pi}\frac{T}{\Theta - T}$, *est décrit avec une vitesse angulaire uniforme* $\frac{2\pi}{\mathfrak{T}} = 2\pi\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{\Theta}\right)$.

Le rayon du cercle dépend de l'amplitude et de la phase initiales.

On reconnaît que l'amplitude varie périodiquement avec le temps, comme les rayons vecteurs de l'origine menés à ce cercle, et que la période est $\mathfrak{T}$. Le système oscillant exécute donc de véritables *battements :* le régime variable subsiste indéfiniment et le régime stable ne peut jamais s'établir. Nous retrouvons ici le résultat prévu par la théorie générale, à savoir que le régime stable ne peut s'établir qu'avec une oscillation amortie.

La phase varie aussi périodiquement, mais de deux manières, très différentes suivant le rayon du cercle indicateur. Si l'origine est extérieure au cercle, cette phase, mesurée par l'angle du vecteur avec la ligne du centre, oscille entre les valeurs angulaires correspondant aux tangentes menées de l'origine au cercle : il y a donc une sorte de synchronisation périodique avec une erreur alternativement positive et négative. Si, au contraire, l'origine est intérieure au cercle indicateur, la phase varie d'une manière continue avec le temps : le système perd ou gagne une période T à chaque période $\mathfrak{T}$, suivant le sens de la description du cercle. Le système échappe donc à la liaison synchronique, et la synchronisation, même imparfaite, du cas précédent, est impossible.

Il importe de remarquer cette conséquence curieuse que, l'impulsion synchronisante restant la même, le choix des conditions initiales peut conduire à l'une ou à l'autre de ces deux espèces de régimes périodiques.

Remarque. — Pour la simplicité de la démonstration, on a supposé une force à la fois instantanée et très petite : on démontre aisément que ces deux restrictions ne sont pas nécessaires, à la condition de remplacer l'intensité u de la percussion par le produit du moment de la force (constante pendant l'intervalle de temps 2δ) par deux fois le sinus de $\frac{\pi\delta}{T}$ et l'époque de la percussion par l'époque moyenne de l'action.

2° *Force instantanée périodique appliquée à une oscillation faiblement amortie.* — A l'époque ω, l'oscillation est figurée par le vecteur OM (*fig.* 2) : l'accroissement MM′ de la vitesse est porté sur l'ordonnée oblique PM; le déplacement de M′, représentatif de l'oscillation subséquente, s'effectue non pas sur un cercle M′M″, mais sur un arc de spirale logarithmique $\rho = \mathcal{A} e^{-\alpha t}$ qui, au bout du temps Θ, aboutit en M_1. L'amortissement très petit produit la diminution $M''M_1$ du rayon vecteur, diminution qu'on regardera aussi comme une différentielle et qu'on calculera en développant l'exponentielle à l'approximation convenue :

$$M''M_1 = -\rho\alpha\Theta.$$

On obtient ainsi un triangle infinitésimal $MM'M_1$ et l'on construit aisément un triangle fini qui lui reste semblable, OMC, dont les côtés sont respectivement inclinés sur ceux du premier d'un même angle $\gamma = M'M_1M''$: cet angle γ, évidemment invariable, est donné par l'expression

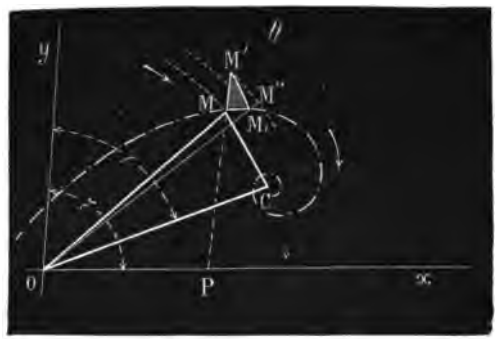
$$(11) \qquad \operatorname{tang}\gamma = \frac{M'M''}{M_1M''} = \frac{2\pi\dfrac{\Theta - T}{T}}{\alpha\Theta}, \qquad \sin\gamma = \frac{2\pi\dfrac{\Theta - T}{T}}{\sqrt{\alpha^2\Theta^2 + 4\pi^2\left(\dfrac{\Theta - T}{T}\right)^2}}.$$

Les relations de similitude donnent

$$(12)\qquad \frac{M'M_1 = \rho\sqrt{\alpha^2\Theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\Theta - T}{T}\right)^2}}{OM = \rho} = \frac{M'M = u}{OC} = \frac{MM_1}{MC},$$

$$\text{d'où}\quad \begin{cases} OC = -\dfrac{u}{\sqrt{\alpha^2\Theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\Theta - T}{T}\right)^2}} \\ \dfrac{\sin\gamma}{\Theta}\,\dfrac{MM_1}{MC} = \dfrac{\sin\gamma}{\Theta}\sqrt{\alpha^2\Theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\Theta - T}{T}\right)^2}. \end{cases}$$

Fig. 2.



Il résulte de la valeur constante de OC que le lieu du point M est une courbe dont le rayon vecteur MC, passant par un point fixe C, coupe la courbe sous l'angle constant γ. Donc :

Dans le cas de l'oscillation faiblement amortie de période T, *modifiée par une force instantanée u de période* Θ, *peu différente de* T, *l'indicatrice de synchronisation est une spirale logarithmique dont le point asymptotique est situé à une distance de l'origine égale à*

$$(13)\qquad \mathfrak{M} = \frac{u}{\sqrt{\alpha^2\Theta^2 + 4\pi^2\left(\frac{\Theta - T}{T}\right)^2}} = \frac{uT}{2\pi(\Theta - T)}\sin\gamma,$$

sur une droite faisant avec l'axe représentatif des vitesses le

même angle γ,

$$\text{(14)} \qquad \operatorname{tang}\gamma = \frac{2\pi}{\alpha\Theta}\,\frac{\Theta - T}{T} = \frac{2\pi}{\alpha\mathfrak{T}},$$

que la spirale fait avec le rayon vecteur du point asymptotique.

Elle est décrite par ce rayon vecteur avec une vitesse angulaire constante $\frac{2\pi}{\mathfrak{T}}$.

L'existence d'un point asymptotique démontre intuitivement que le mouvement tend vers un régime stable, c'est-à-dire vers une oscillation pendulaire simple représentée par le vecteur OC du point asymptotique : l'amplitude limite est donc $\mathfrak{V}$ et la phase limite $2\pi\Phi = \gamma$, expressions (13) et (14).

La vérification de la théorie générale est donc complète ; elle va même plus loin qu'on ne pourrait s'y attendre, car elle s'étend jusqu'à l'identification des expressions (13) et (14) respectivement avec (5) et (6) (p. 447) : il suffit, en effet, dans ces dernières, de négliger $\alpha^2 T^2$ ou $\alpha^2\Theta^2$ devant $4\pi^2$ et $\Theta - T$ devant T ou Θ. Cette identification prouve que la percussion instantanée équivaut ici à une force périodique pendulaire.

La discussion de la spirale indicatrice montre que, pendant le régime variable, il peut se présenter deux cas différents suivant que les volutes de la spirale parcourues par le point représentatif embrassent ou non l'origine : le système oscillant peut donc, pour certaines conditions initiales, échapper d'abord complètement à la liaison synchronique ; mais la synchronisation parvient toujours à s'établir, d'abord imparfaite et périodique, finalement parfaite et stable.

Vérifications expérimentales. — En raison de l'importance et de la simplicité de ces résultats, j'ai cherché une vérification expérimentale décisive : j'ai pensé qu'elle ne laisserait rien à désirer si le système oscillant enregistrait lui-même son indicatrice de synchronisation. L'application de la méthode optique et des phénomènes décrits précédemment (p. 146 et suiv.), jointe à l'emploi de la Photographie, m'ont permis d'atteindre ce résultat.

Le système oscillant choisi est un lourd pendule battant à peu

près la seconde ($T = 2^s \pm \varepsilon$); les oscillations sont amorties par un barreau aimanté, fixé transversalement à la tige, dont l'un des pôles oscille dans l'axe d'un tube de cuivre rouge, ou mieux d'un solénoïde à circuit fermé : cette dernière disposition permet de faire varier le coefficient d'amortissement (d'ailleurs toujours très faible) entre de grandes limites, par l'intercalation de résistances extérieures. La force synchronisante est produite par l'action d'un courant électrique envoyé toutes les deux secondes ($\theta = 2^s$) par une horloge astronomique; ce courant traverse un solénoïde enveloppant l'autre pôle de l'aimant précité et l'attire périodiquement pendant une fraction de seconde. Un miroir plan, fixé au couteau de suspension, permet de faire réfléchir un rayon lumineux dans un plan vertical et d'obtenir une déviation proportionnelle au déplacement angulaire θ du pendule; il reste à produire, à l'aide d'un appareil auxiliaire, une déviation horizontale proportionnelle à la vitesse $\frac{d\theta}{dt}$ et à composer ces déviations.

Cet appareil n'est autre qu'un galvanomètre à miroir, du type Deprez-d'Arsonval, à cadre très léger, recevant le courant induit par les pôles de deux longues aiguilles d'acier aimanté, fixées au bas du pendule et oscillant dans l'axe de quatre longs solénoïdes. Les éléments de ce galvanomètre ont été choisis de manière que le régime stable d'oscillation du cadre reproduise aussi fidèlement que possible à chaque instant la vitesse d'oscillation du pendule.

La reproduction exacte est théoriquement impossible, puisqu'il existe inévitablement une différence de phase entre la force synchronisante et le mouvement synchronisé (*voir* p. 144); mais, par un choix convenable de la durée d'oscillation propre du galvanomètre ($\frac{1}{2}$ seconde) et l'affaiblissement suffisant de son coefficient d'amortissement [1], on peut réduire la différence de phase à une fraction négligeable.

Dans l'appareil ainsi combiné, le régime stable est atteint en cinq ou six secondes, et la déviation du galvanomètre est à chaque

---

[1] Le galvanomètre a une résistance propre de 55 ohms, les quatre solénoïdes de 15 ohms; on ajoute 30 ohms environ pour réduire l'ellipse à un cercle, ce qui fait 100 ohms de résistance totale; dans ces conditions, le coefficient d'amortissement α est 0,6 (unités C.G.S.); le tube de fer intérieur au cadre du galvanomètre a été supprimé.

instant sensiblement proportionnelle à la vitesse angulaire du pendule.

L'image d'une étincelle d'induction condensée éclatant entre deux pôles de magnésium, réfléchie sur les deux miroirs, se déplace suivant une ellipse qu'on ramène aisément à un cercle en intercalant une résistance convenable dans le circuit du galvanomètre. Une plaque photographique au gélatinobromure, placée au foyer de la lunette d'observation, garde la trace de ces impressions successives; comme l'amplitude varie sans cesse, on obtient non pas des cercles mathématiques, mais des spires très serrées : la forme sensiblement circulaire de ces courbes est une vérification très délicate du réglage de l'appareil. Pour obtenir le tracé automatique de l'indicatrice, il suffit d'ajouter devant la source un obturateur manœuvré par un électro-aimant qui ne découvre la source lumineuse qu'au moment où le courant synchronisant passe dans l'électro-aimant. Il en résulte que le tracé de chaque cercle se réduit à un point, si le courant est instantané, et ce point est précisément celui dont on cherche le lieu. La juxtaposition de tous ces points forme une courbe en apparence continue qui réalise la définition de l'*indicatrice de synchronisation.*

La *fig.* 3 est la reproduction en négatif, *sans aucune retouche,* d'un de ces clichés par les procédés de M. Dujardin; la droite verticale a été obtenue en faisant osciller le pendule seul, galvanomètre hors circuit; l'horizontale, en faisant osciller le galvanomètre par une impulsion auxiliaire, le pendule étant au repos : ce sont les axes des déplacements et des vitesses, ils sont sensiblement rectangulaires ($\zeta = 90^\circ$ à fort peu près).

La spirale indicatrice a été obtenue de la manière suivante : le pendule étant au repos, on lance le courant synchronisant, qui met le pendule en oscillation; lorsque l'amplitude est devenue suffisante, on commence l'enregistrement photographique. Il a été poursuivi pendant vingt minutes environ, ce qui correspond à deux périodes $\mathfrak{T}$ ou à deux spires de l'indicatrice (ici $T > \Theta$); en prolongeant l'expérience, on finirait par atteindre le point asymptotique.

La spirale est double sur la *fig.* 3, parce que le signal électromagnétique était double; cela tient à ce que l'impulsion, au lieu d'être instantanée, durait environ $\frac{1}{3}$ de période : l'obturateur, percé

d'une fente, livrait passage deux fois à la lumière, au début et à la fin du courant.

La vérification n'en est pas moins précise; car, d'après une remarque précédente, une action de durée finie équivaut, dans le cas de l'oscillation pendulaire simple, à une impulsion instantanée agissant à l'époque moyenne de l'action; l'amortissement étant

Fig. 3.

très faible, on peut, sans erreur appréciable, étendre ce résultat au cas de l'expérience actuelle [1]. Les spirales sont simplement déplacées par rotation autour de l'origine.

La *fig.* 4 offre un autre mode de vérification. Cette courbe a été obtenue avec le même dispositif que la précédente, seulement le courant synchronisant n'agissait plus sur le pendule qui oscillait librement suivant une amplitude décroissant avec le temps : on démontre aisément qu'alors le lieu des extrémités du vecteur aux époques Θ, 2Θ, ..., $n\Theta$ de l'oscillation amortie de période T est une *spirale logarithmique, concentrique à l'origine*, ayant le

---

[1] C'est ce qu'on vérifie en traitant la question par une troisième méthode : on écrit sans aucune restriction les équations de condition du mouvement oscillatoire sous l'influence d'une force constante, de durée 2δ, agissant à l'époque moyenne t, $t+\Theta$, $t+2\Theta$, ... Les calculs se simplifient beaucoup par l'emploi des exponentielles imaginaires, qui représentent les propriétés des vecteurs. On

même paramètre γ que l'indicatrice. Les cercles qui l'encadrent sont les cercles décrits ci-dessus lorsque l'obturateur est arrêté (le pointillé est dû à la succession rapide des étincelles : il donne la période du trembleur de la bobine d'induction) (¹).

Fig. 4.

L'identité expérimentale des deux spirales (elles sont rigoureusement superposables) est une vérification importante parce que la première, ou indicatrice, comporte la rigueur des actions dynamiques de la force synchronisante sur le pendule, tandis que la seconde (spirale concentrique) est une représentation purement

---

arrive aisément à l'expression de l'amplitude $\mathfrak{A}$ et de la phase Φ limites,

$$(15) \qquad \mathfrak{A} = v\sqrt{\frac{e^{2\alpha\delta} + e^{-2\alpha\delta} - 2\cos\frac{4\pi\delta}{T}}{1 - e^{-2\alpha\Theta} - 2e^{-\alpha\Theta}\cos\frac{2\pi\Theta}{T}}},$$

$$(16) \qquad \Phi = H - \Psi + \frac{\zeta}{2\pi} \quad \begin{cases} \operatorname{tang} 2\pi H = \dfrac{e^{-\alpha\Theta}\sin\frac{2\pi\Theta}{T}}{1 - e^{-\alpha\Theta}\cos\frac{2\pi\Theta}{T}}, \\ \operatorname{tang} 2\pi\Psi = \dfrac{e^{\alpha\delta} + e^{-\alpha\delta}}{e^{\alpha\delta} - e^{-\alpha\delta}}\operatorname{tang}\dfrac{2\pi\delta}{T}. \end{cases}$$

Elles se réduisent ici, où α et δ sont petits, aux expressions (13) et (14).

(¹) Les clichés originaux ont été projetés devant la Société de Physique.

cinématique où l'action de la force auxiliaire n'intervient plus. Le tracé de la seconde réussit toujours; celui de la première exige une grande régularité dans la durée et l'intensité de la force synchronisante. A chaque variation d'intensité, il se forme un point anguleux sur l'indicatrice, parce qu'il se produit un arc d'une nouvelle spirale, de même paramètre, il est vrai, mais correspondant à un point asymptotique différent.

Recherches sur la densité de l'acide sulfureux à l'état de liquide et de vapeur saturée; par MM. Cailletet et Mathias.

Nous avons exposé dans un Mémoire antérieur (¹) nos recherches sur les densités du protoxyde d'azote, de l'éthylène et de l'acide carbonique à l'état de liquide et de vapeur saturée. Afin de généraliser la méthode que nous avons employée, il était nécessaire de l'appliquer à l'étude de corps dont le point critique fût beaucoup plus élevé que celui des gaz que nous avons étudiés. Nous avons choisi dans ce but l'acide sulfureux, dont le point critique est voisin de 156°.

I. *Densité de la vapeur saturée.* — L'appareil que nous avons employé est le même que celui qui nous a servi dans notre premier travail. Nous avons dû seulement modifier nos procédés de chauffage de façon à atteindre la température de 160° par des élévations successives, et à maintenir chaque température constante pendant la durée d'une expérience.

Pour les températures inférieures à 80°, nous employons des circulations d'eau chaude dont nous réglons la vitesse; on obtient ainsi au bout d'un temps plus ou moins long un régime permanent pendant lequel on effectue les mesures. Pour les températures supérieures à 80°, nous employons des circulations de vapeurs de corps bouillant à des températures constantes. Avec l'eau, l'alcool amylique *du commerce* et l'alcool ordinaire, nous obtenons les températures voisines de 100°, 91°, 78°; avec le toluène, l'alcool amylique *pur,* le xylène, nous obtenons 110°, 128°, — 130° et les

---

(¹) *Séances de la Soc. de Phys.,* année 1886, p. 171.

températures voisines de 140°. Pour avoir toutes les températures intermédiaires, supérieures à 120°, nous nous servons des pétroles obtenus par des distillations fractionnées de pétrole brut d'Amérique (1). Ajoutons que, pour diminuer l'influence du rayonnement, le manchon concentrique au tube à densité est entouré dans toute sa longueur d'un feutre épais ne laissant que deux fenêtres diamétrales qui permettent de faire les observations.

L'acide sulfureux est préparé par l'action de l'acide sulfurique concentré sur le mercure. Le gaz, lavé dans une petite quantité d'eau, se sèche en traversant une colonne de 2^m de ponce sulfurique à l'extrémité de laquelle est fixé, au moyen d'un masticage, le tube laboratoire qui doit contenir le gaz pur et sec. Nos recherches exigeant des corps d'une grande pureté, nous balayons l'air contenu dans l'appareil en faisant dégager SO^2 pendant un temps assez long, et, pour faciliter le départ des traces d'air qui pourraient rester dans la ponce, nous faisons le vide à plusieurs reprises dans les tubes desséchants. Avec ces précautions nous obtenons un gaz ne renfermant plus, comme nous nous en sommes assurés, qu'une trace insignifiante et entièrement négligeable d'un gaz non absorbable par la potasse (2). On remplit alors le tube laboratoire comme il est indiqué dans notre précédent Mémoire.

Nous avons fait quarante déterminations de la densité de vapeur saturée avec trois échantillons de gaz différents, et des tubes à densité différents. Voici, à titre de renseignement, les dimensions de ces tubes. Les tiges avaient 1^m de long, une capacité de 2^{cc} à $2^{cc},5$ et portaient de 1600 à 1800 divisions. Les trois tubes, ayant servi de 156° à 80°, de 80° à 28° et de 35° à 0°, avaient respectivement pour réservoir $32^{cc},2$, $6^{cc},0$ et 1^{cc} seulement.

Le gaz qui nous a servi à haute température étant extrêmement pur, nous avons déterminé son point critique. Nous avons trouvé que le liquide disparaît au voisinage de + 156°,0, c'est-à-dire à une température un peu supérieure à celle de + 155°,4 observée par M. Sajotchewsky (3). On sait d'ailleurs qu'il suffit d'une très

---

(1) Nous remercions M. Friedel de l'obligeance avec laquelle il a mis à notre disposition ses appareils distillatoires.

(2) Moins d'un millième.

(3) *Wied. Beibl.*, t. III, p. 741; 1879.

petite quantité d'air pour abaisser d'une façon sensible la température critique. Voici les densités que nous avons observées; elles sont rapportées à l'eau à + 4° :

t°.	Densités.	t°.	Densités.
+ 7°,3	0,00624	+109°,7	0,09541
8,9	0,00660	123,0	0,1340
10,6	0,00703	125,0	0,1422
12,2	0,00737	128,0	0,1511
16,5	0,00858	129,75	0,1593
22,0	0,01019	130,0	0,1607
24,7	0,01127	134,0	0,1736
28,2	0,01226	135,0	0,1888
28,8	0,01312	137,0	0,2040
31,2	0,01338	139,5	0,2154
34,9	0,01553	141,5	0,2272
37,5	0,01690	142,0	0,2336
41,1	0,01905	144,0	0,2496
45,4	0,02187	145,5	0,2667
49,6	0,02340	146,5	0,2774
55,4	0,02805	147,5	0,2842
58,2	0,03107	149,0	0,2972
78,7	0,04640	152,5	0,3426
91,0	0,06264	153,9	0,3663
100,6	0,07866	154,9	0,4017

Les résultats obtenus montrent que la méthode s'applique à l'étude des corps à point critique élevé; son exactitude n'est limitée que par la présence de la vapeur de mercure dont la tension ne devient sensible qu'au-dessus de 200°.

II. *Densité de l'acide sulfureux liquide.* — Nous avons employé d'abord le tube en O qui nous avait servi dans nos premières expériences; mais, à raison de la facilité avec laquelle on peut remplir un thermomètre d'acide sulfureux liquide, nous nous sommes servis de la méthode thermométrique pour les recherches que nous publions aujourd'hui.

Déjà Isidore Pierre (1) avait mesuré la dilatation de l'acide sulfureux de — 30° à — 8° et Andréeff (2) de — 10° à + 40°. De son

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XXI, p. 336; 1847.
(2) *Ibid.*, 3e série, t. LVI, p. 317; 1859.

côté, Drion [1] avait étudié sa dilatation apparente de 0° à + 130° en se servant d'un thermomètre *métastatique*. Nous avons voulu compléter l'étude de la dilatation de l'acide sulfureux liquide entre 130° et le point critique, et vérifier si la méthode du thermomètre métastatique fournit des résultats exacts à haute température.

Drion admettait, en effet, que « dans un thermomètre métastatique n'ayant qu'une dizaine de degrés de course environ, si le bec de déversement a une longueur suffisante et un diamètre assez petit, on peut admettre comme *évident* que la portion de liquide renfermé dans le réservoir supérieur fournit seule la vapeur nécessaire à la saturation de cet espace ». Contrairement à l'avis de ce savant, on peut penser que, si bien agité que soit le bain où plonge le thermomètre à densité, les élévations de température se produisant par la partie inférieure, le liquide qui est dans la tige du thermomètre émettra de la vapeur saturée avant celui de l'ampoule, que par suite on observera une dilatation un peu trop faible, d'où l'on déduira une densité un peu trop grande. Si cela est, l'erreur devra aller en augmentant avec la température, et devra être surtout appréciable au moment où la densité de la vapeur saturée devient notable.

Les thermomètres que nous avons fait construire sont à parois épaisses, de façon à réduire autant que possible l'augmentation de volume sous l'influence de la pression intérieure; les réservoirs étaient des cylindres à bouts hémisphériques. Connaissant leurs dimensions, il est facile, au moyen des formules connues de l'élasticité, de calculer leur déformation et de voir si elle est négligeable. En particulier, le thermomètre qui nous a servi à étudier la dilatation jusqu'au point critique était en cristal blanc. Voici ses dimensions :

Tige.

	cm
Diamètre intérieur	0,30
Épaisseur des parois	0,22
Longueur	35,0

[1] *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LVI, p. 1; 1859.

Réservoir.

	cm
Diamètre intérieur	0,50
Épaisseur des parois	0,30
Longueur totale.....	7,50

Le calcul montre (¹) qu'au point critique l'augmentation du volume est d'environ $\frac{1}{2000}$, c'est-à-dire qu'elle ne modifie que le quatrième chiffre décimal. Il n'y a donc pas lieu de s'en préoccuper.

Les tubes thermométriques sont soigneusement jaugés et calibrés. Les volumes apparents du liquide sont observés au moyen d'une lunette; la mesure de la flèche du ménisque permet, en supposant sa courbure circulaire et connaissant le diamètre intérieur de la tige, de faire la correction capillaire. Le poids total du liquide et de la vapeur est connu par la pesée du thermomètre vide et plein. Le côté nouveau de nos recherches consiste dans la correction *exacte* du poids de la vapeur saturée déduit de l'observation de son volume et de la connaissance de la densité déterminée expérimentalement.

Le tube thermométrique est plongé dans un bain chauffé au bain de sable. Le bain est formé d'eau au-dessous de 100°; on remplace ce liquide par de la paraffine pour l'étude des densités aux températures supérieures à 100°. Ce liquide est très transparent, mais il nécessite une agitation énergique, car il est peu conducteur de la chaleur.

(¹) Si l'on admet comme coefficient d'élasticité du cristal le nombre $q = 5588$ trouvé par Chevandier et Wertheim sur un échantillon de cristal blanc de Baccarat (*Ann. de Chim.*, 3e série, t. XIX, p. 134; 1847) qui s'accorde très bien avec les coefficients d'élasticité de cinq tubes en cristal déterminés d'après leurs vibrations longitudinales par Wertheim (*Ann. de Chim.*, 3e sér., t. XXIII, p. 71; 1848), on tire de là la valeur du coefficient de compressibilité linéaire α,

$$\alpha = 0,000000001789,$$

les pressions étant exprimées en grammes par centimètre carré.

Connaissant la pression critique de l'acide sulfureux, qui est de $78^{atm},9$ d'après Sajotchewsky, on calcule aisément l'augmentation proportionnelle de volume de la tige et du réservoir. On trouve ainsi:

Pour la tige.....	0,000485
Pour le réservoir....	0,000511

Le coefficient de dilatation de l'enveloppe thermométrique est déterminé à la manière ordinaire [1]. Nous avons fait deux séries d'expériences avec deux tubes différents; les nombres obtenus sont les suivants :

Première série.		*Deuxième série.*	
t°.	Densités.	*t°.*	Densités.
0		0	
0,00	1,4338	0,00	1,4355
+13,05	1,3994	62,00	1,2523
21,70	1,3757	82,40	1,1845
29,50	1,3537	89,20	1,1589
35,20	1,3374	97,55	1,1237
45,00	1,3082	102,40	1,1041
55,00	1,2872	107,20	1,0817
		113,30	1,0545
		120,45	1,0166
		126,35	0,9810
		130,30	0,9560
		133,05	0,9349
		137,25	0,8997
		140,80	0,8690
		143,75	0,8392
		146,60	0,8065
		149,56	0,7677
		151,75	0,7317
		153,00	0,7067
		154,30	0,6706
		155,05	0,6370

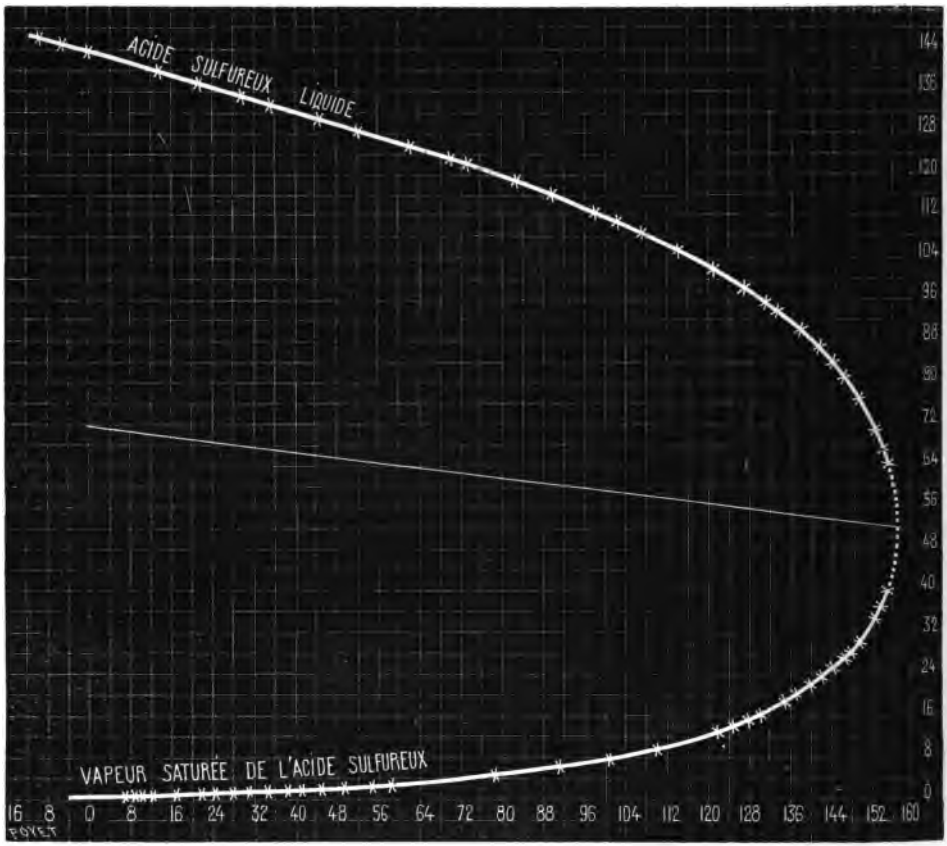
Si l'on construit les courbes ayant pour abscisses les températures et pour ordonnées les deux sortes de densités, en joignant par un trait continu les points obtenus, on a deux courbes se raccordant au point critique, ce qui montre bien que la densité du liquide et celle de la vapeur saturée ont une limite commune, contrairement à la conclusion d'Avénarius [2].

---

[1] Si l'on se reporte aux dimensions du thermomètre en cristal blanc qui nous a servi au point critique, on s'assurera facilement qu'il était d'une sensibilité très faible comme thermomètre à mercure. La détermination du coefficient de dilatation de l'enveloppe est nécessairement peu précise; le nombre obtenu étant voisin de celui donné par Regnault pour le cristal de Choisy, c'est ce dernier nombre que l'on a introduit dans les calculs. L'incertitude qui en résulte est négligeable même à 150°.

[2] *Mémoires de l'Acad. des Sciences de Saint-Pétersbourg;* 1876-77.

La considération du diamètre conjugué des cordes verticales, qui est ici presque rigoureusement rectiligne, permet de déterminer graphiquement ou par le calcul la densité critique, qu'on trouve ainsi être égale à 0,520.



Afin de comparer nos nombres à ceux des expérimentateurs qui nous ont précédés, nous avons mesuré de 5° en 5° les densités du liquide sur le tracé graphique. La comparaison est faite dans le Tableau suivant, où sont réunies toutes les données expérimentales connues sur la densité de l'acide sulfureux liquide.

t°.	Isidore Pierre.	Andréeff.	Cailletet et Mathias.	Drion.
— 30,0 ...	1,5128	»	»	»
— 25,0 ...	1,5020	»	»	»
— 20,0 ...	1,4899	»	»	»
— 15,0 ...	1,4777	»	»	»
— 10,0 ...	1,4639	1,4616	»	»
— 5,0 ...	»	1,4476	»	»
0,0 ...	»	1,4336	1,4340	1,4340 (admis)
+ 5,0 ...	»	1,4195	1,4203	»
10,0 ...	»	1,4055	1,4066	1,4085
15,0 ...	»	1,3914	1,3929	»
20,0 ...	»	1,3774	1,3792	1,3821
25,0 ...	»	1,3633	1,3655	»
30,0 ...	»	1,3492	1,3505	1,3545
35,0 ...	»	1,3351	1,3365	»
40,0 ...	»	1,3210	1,3220	1,3260
45,0 ...	»	»	1,3075	»
50,0 ...	»	»	1,2920	1,2964
55,0 ...	»	»	1,2760	»
60,0 ...	»	»	1,2595	1,2655
65,0 ...	»	»	1,2432	»
70,0 ...	»	»	1,2268	1,2330
75,0 ...	»	»	1,2101	»
80,0 ...	»	»	1,1929	1,1983
85,0 ...	»	»	1,1748	»
90,0 ...	»	»	1,1554	1,1609
95,0 ...	»	»	1,1348	»
100,0 ...	»	»	1,1134	1,1206
105,0 ...	»	»	1,0920	»
110,0 ...	»	»	1,0695	1,0763
115,0 ...	»	»	1,0457	»
120,0 ...	»	»	1,0188	1,0258
125,0 ...	»	»	0,9898	»
130,0 ...	»	»	0,9575	0,9665
135,0 ...	»	»	0,9188	»
140,0 ...	»	»	0,8760	»
145,0 ...	»	»	0,8240	»
150,0 ...	»	»	0,7588	»
152,0 ...	»	»	0,7256	»
153,0 ...	»	»	0,7062	»
154,0 ...	»	»	0,6790	»
155,0 ...	»	»	0,6370	»
155,5 ...	»	»	0,6000	»
156,0 ...	»	»	0,520	»

Isidore Pierre n'a donné dans son Mémoire qu'une densité [1], celle de — 20°,48, qui est de 1,4911; cela étant, on peut calculer toutes les autres, puisque la dilatation du liquide est connue. C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres de la première colonne.

Quant aux nombres de la quatrième colonne, ils ont été obtenus de la même façon, en se servant des volumes *apparents* de Drion et de la densité à 0° prise égale à 1,4340 [2]. Les densités tirées des expériences de Drion sont donc trop fortes; la quantité qu'il faut leur retrancher pour les comparer aux nombres des autres colonnes s'obtient en les multipliant par $\frac{kt}{1+kt}$, k étant le coefficient de dilatation cubique du verre du thermomètre. Si l'on fait cette correction en adoptant pour k une valeur moyenne, $\frac{1}{38000}$ par exemple, on constate que nos nombres sont toujours compris entre ceux d'Andréeff et ceux de Drion, et plus voisins des premiers que des seconds. On voit, de plus, que pour les températures supérieures à + 40° les densités de Drion continuent à être plus grandes que les nôtres de quantités qui croissent avec la température, ce qui confirme nos prévisions. A + 130° la différence atteint six unités du troisième ordre, c'est-à-dire qu'elle est environ $\frac{1}{150}$ de la densité du liquide. La méthode du thermomètre *métastatique* n'est donc pas suffisante pour faire disparaître la cause d'erreur provenant de la vaporisation du liquide, surtout au voisinage du point critique.

III. *Coefficient de dilatation et chaleur latente de vaporisation de l'acide sulfureux liquide.* — Nous avons calculé, ainsi que l'avait fait Drion, les coefficients de dilatation de l'acide sulfureux liquide, au moyen des densités lues sur le tracé graphique. Nous avons calculé les coefficients *moyens* de dilatation par la formule

$$\alpha = \frac{\delta_0(\delta - \delta')}{\delta\delta'(t' - t)},$$

---

(1) *Loc. cit.*, p. 339.

(2) La moyenne des nombres que nous avons obtenus donnerait 1,4346; mais le nombre 1,4338 est celui auquel nous accordons le plus de confiance. En admettant 1,4340 nous devrons être très près de la vérité, car la densité à — 10° tirée des expériences d'Is. Pierre étant sensiblement plus forte que celle d'Andréeff, la densité à 0° d'Andréeff paraît devoir être un peu trop faible.

qui équivaut à

$$\alpha = \frac{V' - V}{V_0(t' - t)}.$$

On obtient ainsi :

				α.
Entre	156°,0	et	155°,5	0,7371
»	155,5	et	155,0	0,2273
»	155,0	et	154,0	0,1345
»	154,0	et	153,0	0,07721
»	153,0	et	152,0	0,04967
»	152,0	et	150,0	0,04457

Ce Tableau montre avec quelle rapidité croît le coefficient *moyen* de dilatation d'un corps au voisinage du point critique pour atteindre, dans le dernier demi-degré, une valeur égale environ à deux cents fois le coefficient de dilatation des gaz, le coefficient *vrai* devenant infini au point critique.

La connaissance des deux sortes de densités de l'acide sulfureux et celle de la variation de la force élastique maxima mesurée par Regnault entre — 30° et + 65° permettent de calculer la chaleur latente de vaporisation par la formule connue

$$L = \frac{T}{E}(u' - u)\frac{dp}{dt}.$$

Les calculs ont été effectués comme il est indiqué dans notre précédent Mémoire; toutes les quantités sont exprimées dans le système du kilogrammètre, et l'on a pris E = 425. Le Tableau suivant résume les résultats des calculs ainsi que les données (¹) :

$t°$.	u'.	u.	$\frac{dp}{dt}$.	L.
0			kg	
0.....	$\frac{1}{1434}$	$\frac{1}{4,53}$	644,744	91,2
+ 5.....	$\frac{1}{1420,3}$	$\frac{1}{5,50}$	753,845	89,3
10.....	$\frac{1}{1406,6}$	$\frac{1}{6,54}$	875,211	88,7
15.....	$\frac{1}{1392,9}$	$\frac{1}{7,85}$	1009,45	86,7
20.....	$\frac{1}{1379,2}$	$\frac{1}{9,35}$	1157,05	84,7

(¹) Les résultats de nos calculs sont d'accord avec le nombre $91^{cal},7$ obtenu par M. J. Chappuis, qui a mesuré par une méthode calorimétrique la chaleur latente de vaporisation de l'acide sulfureux à zéro (*Comptes rendus*, t. CIV, p. 897; 1887).

t_0.	u'.	u.	$\frac{dp}{dt}$.	L.
25.....	$\frac{1}{1365,5}$	$\frac{1}{11,09}$	1318,40	82,7
30.....	$\frac{1}{1350,5}$	$\frac{1}{13,1}$	1493,86	80,3
35.....	$\frac{1}{1336,5}$	$\frac{1}{15,6}$	1683,68	77,3
40.....	$\frac{1}{1322}$	$\frac{1}{18,15}$	1888,03	75,6
45.....	$\frac{1}{1307,5}$	$\frac{1}{21,15}$	2106,97	73,3
50.....	$\frac{1}{1292}$	$\frac{1}{24,6}$	2344,03	70,9
55.....	$\frac{1}{1276}$	$\frac{1}{28,2}$	2588,26	69,3
60.....	$\frac{1}{1259,5}$	$\frac{1}{31,55}$	2850,09	69,0
+65.....	$\frac{1}{1243,2}$	$\frac{1}{35,3}$	3118,80	68,4

M. Sajotchewsky a continué les recherches de Regnault sur la tension de la vapeur de l'acide sulfureux; ses expériences, qui s'étendent de + 50° jusqu'au point critique, ne se raccordent pas avec celles de Regnault, car il y a entre 50° et 60° une différence de 6,5 pour 100 sur la valeur de $\frac{dp}{dt}$ (¹), et ce désaccord ne permet pas de calculer les chaleurs latentes qui, au lieu de continuer à décroître régulièrement, prennent au contraire des valeurs plus grandes qu'auparavant. M. J. Bertrand est arrivé, par une voie toute différente, à la même conclusion que nous, touchant les nombres de M. Sajotchewsky; nous sommes heureux de signaler cette concordance (²).

IV. *Remarques sur les densités de vapeur saturée.* — Les vapeurs saturées sont des corps gazeux au voisinage immédiat de leur point de liquéfaction, et par suite sont plus *compressibles* que ne l'indique la loi de Mariotte. Si donc on essaye de calculer les densités de vapeurs saturées au moyen des tensions maxima en appliquant la loi de Mariotte et celle de Gay-Lussac, on doit trouver des densités calculées plus *faibles* que ne le sont les densités déterminées expérimentalement. On vérifie facilement pour

---

(¹) Voici les nombres :

	F_{50}.	F_{60}.	$\frac{F_{60}-F_{50}}{10}$.
	atm	atm	atm
Regnault.....	8,19	10,69	0,250
Sajotchewsky	8,43	11,09	0,266

(²) *Comptes rendus*, t. CIV, p. 1568; 1887.

l'éthylène [1], l'acide carbonique, l'acide sulfureux, que la différence entre la densité calculée et la densité vraie croît avec la tension maximum; que cette différence, faible lorsque la tension est au voisinage de la pression atmosphérique, devient considérable au point critique, la densité critique étant 2,5 ou 3 fois la densité calculée. La loi de variation de cette différence change d'ailleurs avec le corps que l'on considère, de sorte qu'il est impossible de formuler, *a priori,* une relation même approchée entre les densités calculées et les densités de vapeur saturées réelles.

Seul, parmi les corps que nous avons étudiés, le protoxyde d'azote présente une particularité qui appelle l'attention; aux températures inférieures à — 10°, la densité calculée en se servant des tensions de vapeur de Regnault est *plus grande* que la densité observée. Ce fait est mis en évidence dans le Tableau suivant :

t°.	Tension d'après Regnault en atmosphères égale p.	$\frac{pa}{1+\alpha t}$.	Densité lue sur la courbe graphique.
0	atm		
0	36,08	0,0712	0,0800
— 5	32,34	0,0650	0,0690
—10	28,96	0,0594	0,0600
—15	25,90	0,0541	0,0530
—20	23,14	0,0493	0,0460
—25	20,65	0,0449	0,0390

Dans ce Tableau, a est le poids en kilogrammes d'un mètre cube de protoxyde d'azote à 0° et à 760^{mm} :

$$a = 1^{kg},293 \times 1,5269 = 0^{kg},001974;$$

α est le coefficient de dilatation sous la pression constante de 1^{atm}, déterminé par Regnault entre 0° et 100° : $\alpha = 0,003719$.

A — 25°, l'excès de la densité calculée sur la densité lue sur le tracé graphique est environ 15,1 pour 100 du dernier nombre; de plus, à la température de — 10°, où la densité calculée *commence*

---

[1] Le coefficient de dilatation de l'éthylène n'ayant été l'objet d'aucune mesure expérimentale, à notre connaissance du moins, nous nous sommes servis dans le calcul du nombre 0,00370 tiré d'une formule *inédite,* analogue pour l'éthylène à celle que Clausius a donnée pour l'acide carbonique.

à être inférieure à la densité observée, la tension de vapeur est d'environ 29^{atm}; or, pour une égale tension, l'éthylène, l'acide carbonique et l'acide sulfureux fournissent des différences égales ou supérieures à 25 pour 100 de la densité observée.

De semblables différences sont absolument hors de proportion avec les erreurs possibles de l'expérience. Si l'on considère les mesures de la tension de vapeur du protoxyde d'azote données par les différents physiciens (1) qui s'en sont occupés, on trouve qu'elles sont très discordantes, et que les discordances sont de l'ordre de grandeur de celles signalées plus haut. Il paraît donc légitime d'attribuer toutes ces singularités à l'extrême difficulté que l'on a à préparer du protoxyde d'azote exempt d'azote.

SÉANCE DU 1er JUILLET 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 17 juin est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Cadot, Boursier d'agrégation à la Faculté des Sciences de Paris.
Chauvin, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.
Gaiffe (Georges), Constructeur d'instruments de Physique, à Paris.

M. le Président annonce à la Société que le Conseil, dans ses deux dernières réunions, a examiné la question de la publication d'un *Recueil de constantes physiques*, qui paraîtrait par les soins et sous les auspices de la Société. Le Conseil a été unanime à reconnaître l'utilité que présenterait un Recueil qui mettrait sous la main du physicien toutes les données numériques dont il peut avoir besoin. Deux formes ont été proposées pour ce Recueil, celle d'un *Annuaire*, de format restreint, se bornant aux données courantes, ou celle d'un Ouvrage de plus grande étendue et d'un caractère plus élevé, contenant l'indication des sources. Ces deux formes présentent chacune des avantages et, d'ailleurs, ne s'excluent pas nécessairement. C'est à la dernière que le Conseil s'est arrêté pour le moment et il a nommé une

---

(1) Faraday, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. XV, p. 283: 1845. Regnault, *Mém. de l'Acad.*, t. XXVI, p. 535; 1862. Cailletet, *Archives de Genève*, t. LXVI, p. 16; 1878.

Commission [1] chargée de préparer les éléments d'un volume de même format que la *Collection des Mémoires* et qui renfermerait, avec l'indication des sources, les principales données numériques de la Physique.

Restait une difficulté, celle des voies et moyens, les ressources de la Société étant limitées et le Conseil tenant à ce que cette nouvelle publication n'entravât en rien celle de la *Collection des Mémoires*. Le Président est heureux d'annoncer à la Société que cette difficulté vient d'être levée par un membre de la Société qui désire garder l'anonyme et qui a versé entre les mains du trésorier une somme de 5000^{fr} pour aider à la publication du Recueil.

M. le Président se fait l'interprète de la Société en adressant tous ses remerciements au généreux anonyme. (*Applaudissements.*)

M. Foussereau expose la suite de ses recherches sur la décomposition lente des sels par l'eau. Les conditions de l'équilibre chimique vers lequel tendent, dans leurs dissolutions étendues, les chlorures partiellement décomposés, sont modifiées par les variations de la pression. Pour le constater, des dissolutions de perchlorure de fer et de chlorure d'aluminium, préparées depuis longtemps et parvenues à leur état d'équilibre, ont été soumises à des pressions de 150^{atm} à 300^{atm} fournies par une pompe Cailletet. Une longue éprouvette en verre, contenant le liquide, communique avec un tube capillaire recourbé formant bouchon à l'émeri, et dont l'extrémité ouverte plonge dans le mercure d'un bloc d'acier, où l'appareil est enfermé. Ce tube est muni d'un renflement destiné à contenir une masse supplémentaire du liquide de l'expérience, pour empêcher l'introduction du mercure dans l'éprouvette, sous l'influence de la compression.

La résistance d'une dissolution contenant $\frac{1}{33260}$ de perchlorure de fer, mesurée aussitôt après une compression d'une durée de quatre-vingt-dix minutes à 175^{atm}, a diminué de $\frac{1}{100}$ de sa valeur. Celle d'une dissolution au $\frac{1}{5414}$ a diminué de $\frac{1}{23}$ après vingt-quatre heures. Enfin, celle d'une dissolution de chlorure d'aluminium au $\frac{1}{20465}$ a diminué de $\frac{1}{132}$ après vingt heures. Ces liquides, abandonnés à eux-mêmes, reviennent ensuite lentement à leur résistance primitive. Il résulte de ces expériences que l'accroissement de la pression contribue, comme l'élévation de la température, à augmenter l'altération de ces liquides.

M. Foussereau a cherché à observer sur d'autres sels les décompositions lentes et réversibles qu'il avait étudiées sur les chlorures. Il a constaté l'existence de ces phénomènes sur divers sulfates et acétates, notamment les acétates de cuivre et de zinc. Contrairement à ce qui se passe pour les chlorures, les acétates deviennent plus résistants par leur dissociation,

---

[1] La Commission est composée de MM. Joubert, Secrétaire général, Broch, Cailletet, Dufet, Lippmann, de Romilly et Violle.

parce que l'acide acétique mis en liberté est moins conducteur que ses sels.

La limite d'altération des acétates à une même température, au lieu de croître indéfiniment à mesure que la solution augmente, comme cela a lieu pour les chlorures, passe par un maximum pour une certaine dilution. Cette différence d'allure du phénomène s'explique, si l'on remarque que la décomposition des chlorures n'exige que la rencontre d'une molécule de sel et d'une ou plusieurs molécules d'eau, rencontre toujours réalisée, quelle que soit la dilution, tandis que la réaction inverse exige le concours de l'hydroxyde formé et de l'acide chlorhydrique, dont la réunion sera moins fréquente, à mesure que la quantité d'eau ira en croissant. Dans les acétates, les conditions de la réaction inverse ne sont pas changées; mais l'altération directe donne naissance à un acétate basique et exige que plusieurs molécules d'acétate neutre agissent à la fois les unes sur les autres en présence de l'eau. Ce concours deviendra de plus en plus rare, si le liquide est très étendu, et cessera d'être possible au delà d'une certaine dilution.

M. A. Hillairet donne la théorie d'un dynamomètre totalisateur à courroie élastique de M. Raffard.

Si l'on réunit deux poulies A_1, A_2 d'égal diamètre par une bande sans fin de tissu élastique, la vitesse angulaire Ω_1 de la poulie conductrice diffère de la vitesse angulaire Ω_2 de la poulie conduite; on a toujours $\Omega_1 - \Omega_2 > 0$, alors même qu'on a pris toutes les précautions pour assurer l'adhérence et éviter tout glissement.

Si t_1 et t_2 sont les tensions respectives du brin tendu et du brin mou, on démontre facilement que l'on a, à chaque instant,

$$\Omega_1 - \Omega_2 = \frac{\lambda}{R}\,\alpha(t_1 - t_2),$$

λ étant la longueur naturelle de la bande correspondant à la vitesse Ω_1 (*voir* le Mémoire de M. Krest, dans les *Annales des Mines*, 1862, relatif au glissement des courroies);

R le rayon commun des deux poulies;

α l'allongement de la bande par mètre et par kilogramme.

En substituant aux vitesses angulaires, dans la formule précédente, les nombres de tours N_1, N_2 des poulies A_1, A_2 pendant un intervalle de temps déterminé, on a

$$N_1 - N_2 = \alpha\,\frac{N_1}{R}\,(t_1 - t_2).$$

La démonstration de ces deux formules est tirée de l'équation de continuité qui résulte du caractère de mouvement permanent affecté par l'écoulement élastique de la bande.

En généralisant, on voit que cette dernière formule s'applique aussi bien au cas où le régime est varié.

La dernière formule montre donc que la différence $N_1 - N_2$ est proportionnelle au travail développé par la transmission.

On conçoit qu'on puisse, avec le dispositif simple que nous venons d'exposer, réaliser un dynamomètre totalisateur directement gradué en kilogrammètres.

Les courbes expérimentales relevées pendant nos essais sur des bandes en caoutchouc montrent que la fonction étudiée est rigoureusement linéaire.

M. Laurent décrit une méthode pratique pour *redresser,* avec précision, le spath d'Islande et le quartz; elle évite les tâtonnements.

Il rappelle que, pour le quartz, on utilise la propriété des spirales d'Airy et l'on emploie l'appareil Norremberg; pour le spath, on se sert ordinairement des surfaces de clivage avec lesquelles l'axe optique fait des angles égaux; mais on ne les a pas toujours.

L'appareil Norremberg présentant des imperfections pour cet usage, M. Laurent a combiné un appareil ou plutôt un *outil,* dont il donne la description, au tableau, au moyen d'une coupe verticale.

La lumière est polarisée horizontalement par un nicol, elle se réfléchit de haut en bas sur une glace transparente à 45°, comme si elle émanait de l'œilleton; elle traverse une lentille, sort en faisceau parallèle, se réfléchit sur un miroir inférieur et revient dans l'œilleton, analysée par un deuxième nicol. Pour rendre l'axe optique de l'appareil perpendiculaire au miroir, M. Laurent pose sur l'œilleton un oculaire *indépendant,* analogue à ceux de ses lunettes autocollimatrices. Au lieu de fils, il a mis une glace avec deux traits en croix; on éclaire, et, si l'image réfléchie ne coïncide pas avec les traits, on agit sur les trois vis qui fixent le corps de l'appareil.

On a ainsi une polarisation *complète,* un grand champ, et l'axe optique est bien *perpendiculaire* au miroir inférieur, qui est à faces *parallèles;* on peut redresser de gros canons et examiner une faible trempe dans le verre, etc.

Soit à redresser un spath, dans lequel les surfaces de clivage manquent; on taille deux faces *à peu près* perpendiculaires à l'axe et peu polies; le spath est fixé sur un double trépied à trou central, que l'on pose sur le miroir inférieur de l'appareil; on sait qu'on voit alors un système d'anneaux traversé par une croix, si l'axe du spath coïncide avec celui de l'appareil, et deux systèmes, s'il est oblique. Le trépied porte trois boutons de réglage dont un est divisé. Quand les faces du trépied sont parallèles, les index marquent zéro. Quand on a réglé le trépied de façon à ne voir qu'un système d'anneaux, le spath est oblique; mais la lumière, avant et après réflexion, passe bien par l'axe du spath; ce dernier forme avec l'axe de l'appareil un angle égal à $i - r$, i étant l'angle d'incidence et r celui de réfraction de l'axe de l'appareil avec les faces du spath; on peut donc, en dévissant le trépied d'une quantité facile à calculer (et que M. Laurent indique), rendre l'axe du spath perpendiculaire, *cette fois,* à la base du trépied.

On transporte ensuite le trépied et son spath sous une lunette autocollimatrice et, au moyen d'un petit système collé sur le spath et portant un miroir réglable, on rend ce dernier perpendiculaire à l'axe de la lunette et, par suite, à l'axe du spath.

On détache le spath de son trépied et le problème est alors ramené à ceci : Demander à l'ouvrier de faire au spath une surface inférieure *parallèle* au petit miroir; ce cas est rendu facile par l'emploi des lunettes autocollimatrices : l'ouvrier en comprend très bien le fonctionnement.

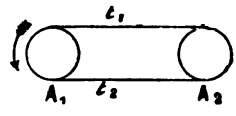
Pour le quartz, c'est le même procédé; on centre bien les spirales d'Airy et l'on tient compte de son indice.

Dynamomètre totalisateur à courroie élastique;

par M. Raffard.

Si l'on réunit deux poulies A_1, A_2, d'égal diamètre (*fig.* 1), par

Fig. 1.



une bande sans fin de matière élastique, la vitesse angulaire de la poulie conduite diffère de la vitesse angulaire de la poulie conductrice, bien qu'on se soit efforcé d'assurer l'adhérence en donnant aux arcs embrassés et aux tensions des valeurs en rapport avec l'effort à transmettre.

Supposons que le régime de la transmission soit uniforme, et désignons par

t_1 la tension du brin tendu;
t_2 la tension du brin mou;
R le rayon commun des deux poulies;
α l'allongement constant par mètre et par kilogramme de la bande élastique.

L'ensemble des mouvements du brin tendu et du brin mou constitue un véritable écoulement de la matière élastique sous des

sections respectivement différentes pour chacun des deux brins.

Le régime uniforme étant établi, ce phénomène présente tous les caractères du mouvement permanent d'un liquide s'écoulant dans une conduite, et la condition de continuité qui en résulte nous donne immédiatement les deux égalités

$$L_1 = \lambda(1 + \alpha t_1), \tag{1}$$

$$L_2 = \lambda(1 + \alpha t_2), \tag{2}$$

L_1, L_2 étant les longueurs de deux prismes de matière élastique appartenant respectivement au brin tendu et au brin mou, et ayant exactement le même poids.

λ représente la longueur commune de chacun de ces deux prismes dans le cas particulier où ils sont identiques, lorsque $t_1 = t_2 = 0$.

La quantité λ a été désignée sous le nom caractéristique de *longueur naturelle,* par M. Kretz, dans son Mémoire *Sur les glissements des courroies en cuir,* publié dans les *Annales de Mines* en 1862.

En étudiant les propriétés mécaniques du caoutchouc, M. Raffard fut amené à reprendre les expériences de M. Kretz, mais avec des bandes élastiques. Le phénomène de retard fut amplifié et M. Raffard put, de ses nouvelles recherches, tirer les conséquences qui l'amenèrent à la conception de l'appareil dynamométrique qui nous occupe.

Nous avons admis que la transmission était dépourvue de glissements dus au manque d'adhérence : ceci posé, on voit clairement que la vitesse d'enroulement du brin tendu sur la poulie conductrice est la même que la vitesse linéaire à la périphérie de cette poulie; de même que le brin mou est animé d'une vitesse qui n'est autre que la vitesse linéaire de la poulie conduite à sa périphérie.

Divisons (1) et (2) membre à membre, il vient

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2},$$

$$\frac{L_1 - L_2}{L_2} = \frac{\alpha(t_1 - t_2)}{1 + \alpha t_2},$$

$$L_1 - L_2 = \frac{L_2}{1 + \alpha t_2}\,\alpha(t_1 - t_2).$$

Mais

$$\frac{L_2}{1 + \alpha t_2} = \lambda,$$

d'où

$$L_1 - L_2 = \lambda \alpha (t_1 - t_2).$$

La différence angulaire du mouvement des deux poulies correspondant aux longueurs L_1 et L_2 est, d'après ce que nous avons vu précédemment, proportionnelle à $L_1 - L_2$ et, par suite, à $t_1 - t_2$, c'est-à-dire à l'effort transmis.

Si l'on suppose que L_1 soit la longueur de brin tendu enroulée par tour de la poulie conductrice, la différence angulaire pour N_1 tours de cette poulie pourra être introduite dans une expression équivalente à la précédente

$$2\pi R(N_1 - N_2) = N_1 \lambda \alpha (t_1 - t_2),$$

N_2 étant le nombre de tours de la poulie conduite correspondant à N_1.

La différence totale $N_1 - N_2$ est égale à N_1 fois la différence par tour; or, la différence par tour est proportionnelle à $t_1 - t_2$ qui est l'effort moteur; $N_1 - N_2$ est proportionnel au produit de l'effort moteur par N_1, c'est-à-dire indique le travail total, à un facteur constant près,

$$N_1 - N_2 = \frac{1}{2\pi R} \lambda \alpha N_1 (t_1 - t_2).$$

La transmission en question, tarée expérimentalement, pourra donc constituer un véritable appareil dynamométrique, à la condition que deux compteurs de tours respectivement solidaires des arbres de A_1 et de A_2 indiquent les valeurs correspondantes N_1 et N_2.

Dans l'établissement de la formule précédente, nous avons supposé que le régime était uniforme. Les résultats sont les mêmes quand le régime est varié.

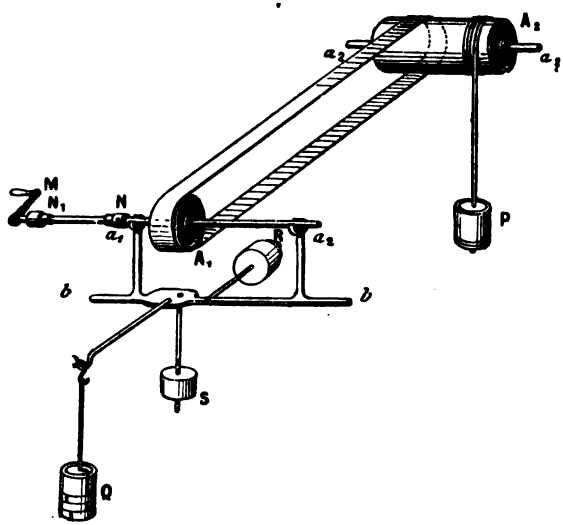
En effet, une accélération de la poulie conductrice produit un allongement momentané du brin tendu dû à l'inertie des organes conduits; ces allongements produisent des différences angulaires dans la marche des deux poulies, différences dont la somme algébrique devient rigoureusement nulle si l'on part d'un régime uniforme pour revenir à un régime uniforme, et en particulier entre la mise en marche et l'arrêt.

La *fig.* 2 montre un diagramme de l'appareil établi par M. Raffard pour la vérification de la loi du retard angulaire que nous venons d'énoncer quel que soit $t_1 + t_2$.

La poulie conductrice A_1 est mise en mouvement par la manivelle M à laquelle elle est reliée par un arbre et deux manchons N, N_1 montés avec du jeu longitudinal.

Les deux supports de la poulie sont solidaires et peuvent osciller autour de l'axe *bb*. Le poids variable Q équilibre la somme

Fig. 2.



des tensions $t_1 + t_2$; les contrepoids à réglage R et S servent, l'un à équilibrer le bras qui porte le poids Q, et l'autre à donner de la stabilité au système oscillant en permettant d'abaisser le centre de gravité de l'ensemble au-dessous de l'axe de suspension.

Le tambour A_2, de même diamètre que A_1, reçoit d'une part la bande élastique à essayer, et de l'autre une cordelette à laquelle est fixé un poids P qu'il s'agit d'élever.

La hauteur d'élévation du poids, celui-ci étant donné, est proportionnelle au travail : on vérifiera donc rapidement que cette hauteur d'élévation est proportionnelle à la différence angulaire du mouvement des deux poulies, pour un nombre de tours fixe de la poulie conductrice.

On constatera ensuite que la loi est indépendante de $t_1 + t_2$, de P, de la longueur de la bande et de la vitesse à laquelle on opère.

L'établissement d'un dynamomètre à courroie élastique peut être effectué avec une grande simplicité; le tarage ne présente aucune difficulté et l'appareil peut être *directement gradué en kilogrammètres.*

Nous en recommandons l'emploi pour la mesure des faibles travaux, que les dynamomètres actuels ne permettent d'évaluer qu'avec une approximation insuffisante.

SÉANCE DU 15 JUILLET 1887.

PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 1er juillet est lu et adopté.

Est élu Membre de la Société :

M. Périer (Paul), chargé de Travaux pratiques de Physique à la Faculté des Sciences de Rennes.

Sur la proposition de M. le Président, M. Bouty est chargé de représenter la Société au Congrès de l'*Association française pour l'avancement des Sciences,* qui se tiendra cette année à Toulouse du 22 au 29 septembre.

M. le Président invite MM. les Membres de la Société à se rendre le jeudi 21 juillet, à 5 heures, aux ateliers de M. Mercklin, rue Delambre, 22, pour l'audition et l'examen des orgues électriques de ce facteur.

M. Bouty communique à la Société les recherches qu'il a entreprises en vue de généraliser l'application de la mesure des résistances électriques à l'étude des réactions chimiques.

1. Pour arriver à ce résultat, il faut d'abord savoir calculer la conductibilité du mélange de deux dissolutions sans action chimique réciproque. Or, dans le cas particulier de deux sels neutres dont les dissolutions ont été effectuées en proportions équivalentes, on sait que la conductibilité du mélange est la moyenne des conductibilités des liqueurs séparées, c'est-à-dire que si l'on a mêlé p litres d'une dissolution de conductibilité a, q litres d'une dissolution de conductibilité b, la conductibilité μ du mélange est

$$\mu = \frac{pa + qb}{p + q}.$$

Il faut pouvoir faire abstraction de la condition d'équivalence des liqueurs mêlées. A cet effet, il suffit de remarquer qu'un mélange quelconque peut toujours être réalisé au moyen de liqueurs équivalentes. Soit, par exemple, une dissolution de chlorure de potassium à $1^{éq}$ par litre que l'on mêle à volumes égaux avec une dissolution d'azotate de potasse à $0^{éq},5$. Ce mélange contient, sous le volume 2, $1^{éq}$ de KCl et $0^{éq},5$ de $KOAzO^5$, et peut être aussi bien réalisé en mêlant 2^{vol} de KCl à $0^{éq},75$ et 1^{vol} de KO, AzO^5 également à $0^{éq},75$. On pourra donc, d'après la loi précédente, calculer la conductibilité de ce mélange, si celles de KCl et de KO, AzO^5 sont connues pour toutes les dilutions.

La conductibilité x ainsi calculée diffère, en général, de la moyenne μ des conductibilités des liqueurs mêlées. Supposons d'abord, pour simplifier, que les deux sels dont on mêle les dissolutions sont identiques; le rapport

$$\varepsilon = \frac{x - \mu}{\mu}$$

est toujours positif et d'autant plus grand que les concentrations des liqueurs mêlées sont plus différentes. Quand ces concentrations sont égales, $\varepsilon = 0$.

Si les sels sont différents, il arrive en général que, dans un certain intervalle, l'accroissement de conductibilité moléculaire du sel qui se dilue est insuffisant pour compenser la diminution de conductibilité du sel qui se concentre, et alors ε est susceptible de devenir négatif. Pour une concentration 1 du premier sel et une concentration m variable du second, ε passe deux fois par zéro; l'une des deux valeurs de m est égale à 1, l'autre plus ou moins différente. Pour des valeurs de m très grandes ou très petites, ε est toujours positif.

Si l'on mêle un sel neutre et un acide, sans action chimique réciproque, on constate que la marche générale des valeurs de ε est la même que dans le cas de deux sels neutres, à cela près qu'aucune des deux valeurs de m pour lesquelles ε s'annule ne se trouve égale à 1. Un équivalent d'un acide minéral tel que les acides chlorhydrique ou azotique se comporte, au point de vue des mélanges, comme le ferait un certain nombre n (entier ou fractionnaire) d'équivalents d'un sel neutre. On remarquera, à ce propos, qu'on ne peut faire rentrer ces acides dans la loi d'équivalents relative à la conductibilité qu'en admettant précisément qu'ils représentent plusieurs équivalents d'un sel neutre.

2. Soient des dissolutions A, B, C que l'on mêle; il s'agit de reconnaître si elles exercent entre elles une action chimique. Si l'on a étudié les conductibilités de A, B, C pour toutes les dilutions, on est en mesure de calculer la conductibilité x de leur mélange, d'après les principes indiqués précédemment. La conductibilité mesurée C concordera rigoureusement avec x, et alors il n'y a pas trace d'action chimique, ou bien elle sera différente, et alors on jugera, d'après son signe, si le nombre des molécules électrolytiques augmente ou diminue. Toutes choses égales d'ailleurs,

l'intensité de la réaction sera grossièrement proportionnelle à la différence $C - x$.

Dans un grand nombre de cas particuliers, il est possible d'aller plus loin et de réaliser, à l'aide de l'électromètre, de véritables analyses quantitatives. M. Bouty a choisi l'exemple de la réaction de l'acide sulfurique sur le sulfate neutre de potasse, étudiée par M. Berthelot, à l'aide du calorimètre. M. Berthelot a reconnu que la quantité de bisulfate de potasse existant dans une liqueur décroît quand la dilution augmente; qu'elle croît, au contraire, par la présence d'un excès de l'un ou de l'autre des deux corps réagissants.

Si l'on mêle l'acide sulfurique et le sulfate neutre en proportions équivalentes, et qu'on étende progressivement la liqueur, M. Bouty observe que la résistance moléculaire ρ_0 du mélange varie d'après la même loi que la résistance moléculaire d'une substance chimique simple quelconque, c'est-à-dire que ρ_0 est lié à la concentration m par une relation

$$\rho = A + B m^{\frac{1}{3}}, \tag{1}$$

A et B étant deux constantes. La constante A est la limite vers laquelle tend, pour $m = 0$, la valeur calculée de la conductibilité d'un mélange d'acide sulfurique et de sulfate de potasse, *en supposant nulle l'action chimique*. La proportion y de bisulfate de potasse contenu dans la liqueur tend donc vers zéro avec m. D'autre part, et quelle que soit la résistance moléculaire du bisulfate de potasse, la forme (1), trouvée pour la résistance moléculaire du mélange, implique que la proportion y de bisulfate soit liée à la concentration m par une relation de la forme

$$y = Y m^{\frac{1}{3}}.$$

y décroît donc en même temps que m, mais avec une lenteur extrême, puisque, quand m se divise par 10, y décroît seulement dans le rapport $\frac{1}{2,156}$.

Si l'on veut calculer la valeur absolue de y pour une concentration donnée m du mélange, il est nécessaire de faire une hypothèse sur la conductibilité du bisulfate de potasse que l'on n'a pu mesurer directement; ce sel est, en effet, toujours accompagné, dans ses dissolutions étendues, par de l'acide sulfurique et du sulfate neutre de potasse. Les analogies portent à penser que, dans les dissolutions étendues, une molécule de bisulfate conduit à peu près comme une molécule de sulfate neutre; eu égard à la grande conductibilité des dissolutions d'acide sulfurique, il est donc légitime de confondre les conductibilités moléculaires des deux sels.

Cela posé, on trouve, conformément aux résultats des expériences de M. Berthelot, que la proportion y de bisulfate croît avec l'excès de l'un quelconque des deux corps réagissants, et que, de plus, elle augmente quand

la température s'élève de 0° à 30° par exemple. *Le bisulfate de potasse est donc plus stable dans les liqueurs chaudes et concentrées que dans les dissolutions froides et étendues.*

En terminant, M. Bouty insiste sur les services que l'on peut attendre de l'emploi de l'électromètre dans l'étude des équilibres chimiques. La nouvelle méthode s'appliquera précisément dans les cas où l'usage du calorimètre devient illusoire, c'est-à-dire quand on a affaire à des liqueurs extrêmement étendues, ou qu'on veut opérer à des températures plus ou moins éloignées de la température ambiante.

N'ayant pas l'intention de poursuivre davantage par lui-même des études d'ordre purement chimique, M. Bouty se met à la disposition des savants qui désireraient se familiariser avec l'usage de l'électromètre et tenter d'autres applications de la mesure des résistances liquides.

M. Gariel présente quelques résultats numériques qu'il a obtenus dans l'étude des microscopes.

Lorsque, devant une lentille ou un système de lentilles, on déplace un objet le long de l'axe, l'image du sommet décrit une droite inclinée sur l'axe et passant par le foyer. Si, prenant l'axe du système pour axe des x et une droite perpendiculaire en un point quelconque pour axe des I, l'équation de cette droite peut être mise sous la forme

$$x = a\mathrm{I} + b,$$

dans laquelle x est l'abscisse de l'image et I représente sa grandeur. On voit immédiatement que b est l'abscisse du foyer; d'autre part, l'équation $\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{O}} = \frac{l'}{f}$, où $l' = b - x$ mesure la distance de l'image au foyer, donne

$$f = a\mathrm{O}.$$

Si donc on détermine, d'autre part, l'abscisse de la face de la lentille c, la quantité $b - c$ mesure la distance de cette face au foyer. Ces deux quantités sont utiles à connaître, car $\frac{1}{f}$ mesure la puissance absolue de l'appareil, et la connaissance de $b - c$ permet de savoir quelles peuvent être les positions relatives du foyer et du centre optique de l'œil, donnée nécessaire pour déterminer les conditions dans lesquelles on peut obtenir le plus fort grossissement.

M. Gariel a étudié dans un microscope de Nachet les diverses combinaisons d'objectifs et d'oculaires; pour chaque cas, il a déterminé l'équation $x = a\mathrm{I} + b$ en cherchant des séries de valeurs correspondantes de x et de I. Il a opéré par deux méthodes distinctes qui exigent l'une et l'autre quelques précautions spéciales : 1° par les images virtuelles en employant la chambre claire; 2° par les images réelles recueillies directement.

Sans entrer dans le détail des opérations et des résultats, il a signalé que les distances focales trouvées varient de $9^{mm},8$ (obj. 2, oc. 1) à $0^{mm},44$

(obj. 6, oc. 3). D'autre part, les distances du foyer à la lentille ont été trouvées pour les divers objectifs de 17^{mm} à $14^{mm},2$ avec l'oculaire 1, de $8^{mm},5$ à $5^{mm},5$ pour l'oculaire 2, de $6^{mm},5$ à $5^{mm},5$ pour l'oculaire 3. Dans le cas des deux derniers oculaires, le centre optique de l'œil est nécessairement plus loin de la lentille que le foyer; il peut être entre la lentille et le foyer pour l'oculaire. L'état d'accommodation de l'œil dans ces deux cas peut donc être différent et cette remarque expliquerait les divergences qui ont été signalées par divers physiciens et micrographes au sujet des conditions d'emploi du microscope.

A une remarque de M. Pellat qui pense que la différence de position de l'œil ne peut pas amener de variations sensibles dans la valeur du grossissement, M. Gariel répond que cependant ces changements ne sont pas négligeables et qu'il lui a paru intéressant, en tout cas, de donner une explication plausible de résultats contradictoires obtenus par divers observateurs.

M. Mergier présente un nouveau focomètre construit par M. Ducretet, destiné à mesurer la distance focale exacte des systèmes dioptriques formés de plusieurs lentilles et, en particulier, la distance focale des objectifs et des oculaires de microscope, et celle du microscope lui-même considéré dans son ensemble.

Le principe de l'instrument est le suivant : Étant donnée l'image égale à l'objet, on cherche l'image double; pour cela, le plan où se forme l'image restant fixe, il faut déplacer l'objet d'une quantité égale à $\frac{f}{2}$ et le système optique réfringent d'une quantité exactement égale à la distance focale f.

L'instrument est construit de façon à éviter les tâtonnements et permet de mesurer des distances focales très petites avec moins de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'erreur. On peut, à l'aide d'une disposition spéciale, déterminer la position des plans principaux du système optique dont on a déjà mesuré la distance focale.

L'auteur poursuit le but de la détermination des constantes physiques des principaux instruments d'optique, et plus particulièrement la graduation des objectifs et des oculaires de microscope en unités dioptriques.

Détermination expérimentale des constantes des instruments d'Optique;

par M. C.-M. Gariel.

Si l'on désigne par α_i le diamètre apparent de l'image I d'un objet de grandeur O regardé à travers un système centré quelconque, image située à une distance d du centre optique de l'œil,

et par λ la distance de ce centre à la rétine, la grandeur de l'image rétinienne est $\beta_i = \lambda\alpha_i$ ou, comme $\alpha_i = \frac{I}{d}$,

$$\beta_i = \frac{\lambda I}{d}.$$

La puissance de l'instrument pour une distance donnée d peut être mesurée par la grandeur de l'image rétinienne fournie par un objet de longueur égale à l'unité; si γ est cette puissance, on a donc

$$\gamma = \frac{I}{O}\frac{\lambda}{d}.$$

Mais on a, d'autre part,

$$\frac{I}{O} = -\frac{l'}{\varphi},$$

si l'on appelle l' l'abscisse de l'image et φ la distance focale du système [1]. Il vient donc

$$\gamma = -\frac{l'}{\varphi}\frac{\lambda}{d}.$$

La position de l'œil doit être définie par rapport au système centré : nous appellerons δ l'abscisse du premier foyer par rapport au centre optique de l'œil; d est l'abscisse de l'image par rapport au même point, la convention des signes restant la même. On a alors

$$l' = d - \delta \qquad \text{et} \qquad \gamma = -\frac{\lambda(d-\delta)}{\varphi d}.$$

Si D est la distance à laquelle on regarde l'objet directement, et β_o la grandeur de l'image rétinienne, dans ce cas, on a

$$\beta_o = \frac{\lambda O}{D}$$

et l'on a, pour les valeurs du grossissement g,

$$g = \frac{\beta_i}{\beta_o} = \frac{I}{O}\frac{D}{d} = -\frac{l'D}{\varphi d} = -\frac{(d-\delta)D}{\varphi d}.$$

---

[1] Nous admettons les conventions suivantes : l' est l'abscisse de l'image comptée à partir du premier foyer, et φ est l'abscisse de la lentille comptée à partir du deuxième foyer. Dans tous les cas, les abscisses sont comptées, par exemple, positivement du côté d'où vient la lumière et négativement du côté opposé.

Dans cette formule, D devra être pris égal à la distance du *punctum proximum* si, comme dans le cas de la loupe et du microscope, l'objet peut être rapproché de l'œil à la volonté de l'observateur; dans le cas contraire, celui des lunettes, D représente la distance effective de l'objet. Dans tous les cas, c'est une quantité connue, indépendante de l'appareil.

Une discussion que ce n'est pas ici le lieu de faire montre que, suivant les conditions, d doit être pris égal à la distance du *punctum proximum* ou à celle du *punctum remotum :* le choix à faire dépend en particulier de la quantité δ, qui entre d'autre part explicitement dans les formules donnant γ ou g; enfin celles-ci contiennent également la distance focale.

Il résulte de ces remarques que la détermination des conditions précises d'emploi d'un système centré dépend de sa distance focale et de la position de son premier foyer par rapport au centre optique de l'œil. Pour pouvoir évaluer l'effet d'un instrument optique appliqué devant l'œil, dans toutes les circonstances, il suffit donc de déterminer la position du premier foyer et la distance focale.

Considérons un objet linéaire AB, perpendiculaire à l'axe du système centré, se déplaçant parallèlement à lui-même, de telle sorte que son extrémité A se trouve constamment sur l'axe; on sait que l'image B′ de l'extrémité B décrit une droite passant par le premier foyer. Désignons par $x = a\mathrm{I} + b$ l'équation de cette droite, x étant l'abscisse prise à partir d'une origine quelconque, abscisse caractérisant la position d'une image, et I l'ordonnée comptée à partir de l'axe qui mesure la grandeur de cette image.

Cette équation étant déterminée, on pourra aisément obtenir les éléments qui caractérisent le système centré comme nous venons de le dire.

En faisant $\mathrm{I} = 0$, la valeur x_0 de l'abscisse, $x_0 = b$, donne immédiatement la position du foyer.

D'autre part, pour une image quelconque, on sait que l'on a

$$\frac{\mathrm{I}}{\mathrm{O}} = -\frac{l'}{\varphi},$$

l' étant l'abscisse à partir du foyer; on a, dans ce cas, d'une manière générale,

$$l' = x_0 - x \qquad \text{ou} \qquad l' = -a\mathrm{I}.$$

On conclura donc immédiatement

$$\varphi = aO.$$

La détermination de l'équation de la droite que nous venons d'étudier s'obtient aisément : il suffit de déplacer un objet d'une manière quelconque devant le système centré que l'on étudie et de mesurer la grandeur de l'image nette en même temps qu'on caractérise sa position en mesurant sa distance à une origine fixe choisie arbitrairement. Deux déterminations de ce genre suffiraient pour calculer les coefficients a et b ; il va sans dire que, en réalité, il convient d'en faire le plus grand nombre possible pour avoir des vérifications.

Pour réaliser expérimentalement les conditions que nous venons d'indiquer, nous avons employé deux méthodes distinctes que nous allons indiquer sommairement.

I. *Méthode de l'image virtuelle.* — Cette méthode est basée sur l'emploi de la chambre claire; voici comment nous avons disposé l'expérience :

Sur le chariot d'un cathétomètre on place horizontalement une règle graduée, en millimètres par exemple; sa position sera déterminée avec précision par une lecture faite sur le vernier de l'appareil. Au-dessus, on place le microscope (ou, d'une manière plus générale, le système centré) que l'on veut étudier après avoir disposé comme d'ordinaire une chambre claire sur l'oculaire et un micromètre sur le porte-objet. Le microscope doit présenter une certaine inclinaison, car la face d'entrée des rayons dans la chambre claire doit être horizontale : on s'assure que cette condition est remplie en déplaçant le chariot du cathétomètre et vérifiant que, regardant dans la chambre claire, on ne cesse pas de voir les mêmes divisions de la règle graduée.

Il faut, d'autre part, déplacer le micromètre ou, plus commodément, cette règle graduée, jusqu'à ce que les divisions de l'un et de l'autre soient parallèles.

L'expérience étant disposée et le micromètre étant convenablement éclairé, en regardant par la chambre claire, on voit à la fois l'image de la règle graduée et celle du micromètre fournie par le microscope. Il faut amener ces images à être en coïncidence, de

manière à éviter la parallaxe; on y arrive suivant le procédé ordinaire en déplaçant l'œil latéralement devant la chambre claire. La coïncidence cherchée existe si, malgré ces déplacements, les deux images conservent leurs positions relatives; ce résultat s'obtient aisément et rapidement.

L'image fournie par le microscope a sa position déterminée; elle est donnée par la lecture faite au vernier du cathétomètre. Cette lecture donne l'abscisse x de l'image, comptée à partir du zéro du cathétomètre.

On a, d'autre part, la grandeur I de l'image en évaluant sur la règle graduée l'espace occupé par une division (ou plus commodément par dix divisions) du micromètre.

Une observation détermine donc un couple de valeurs correspondantes de x et de I, qui doivent satisfaire à l'équation générale

$$x = a\mathrm{I} + b.$$

En déplaçant la règle graduée sur le cathétomètre, on obtient, en répétant les opérations précédentes, autant de couples de valeurs de x et de I qu'on le désire; on peut donc calculer a et b et avoir de nombreuses vérifications, car les mesures s'effectuent rapidement.

Connaissant la valeur absolue des divisions du micromètre, on a immédiatement la distance focale du système, puisque l'on a

$$\varphi = a\mathrm{O}.$$

On a également l'abscisse b du foyer dont la position se trouve déterminée par rapport au zéro du cathétomètre; comme ce qu'il est utile de connaître, c'est la position du foyer par rapport à l'oculaire, il serait nécessaire d'évaluer l'abscisse de la face externe de cette lentille par rapport au zéro du cathétomètre en tenant compte du trajet brisé suivi par les rayons lumineux dans la chambre claire. Nous n'avons pas pu arriver facilement à faire cette détermination avec une grande précision.

II. *Méthode de l'image réelle.* — Cette méthode applicable aux appareils qui peuvent donner des images réelles d'objets extérieurs est très simple : l'appareil est placé parallèlement à une règle graduée; d'un côté on met un micromètre convenablement

éclairé, de l'autre un écran translucide, en verre finement dépoli. L'expérience se fait dans une chambre obscure.

En déplaçant convenablement le micromètre ou l'écran, on arrive à obtenir sur celui-ci une image très nette : la position de cette image est donnée par une lecture faite sur la règle graduée, lecture qui détermine l'abscisse de cette image par rapport au zéro de la règle. On obtient aisément la grandeur de l'image en appliquant sur l'écran une règle divisée sur verre.

On a ainsi, comme précédemment, une couple de valeurs de x et de I qui se correspondent; comme dans la méthode précédente, en variant la position de l'écran, on a autant de valeurs qu'on le veut et l'on peut déterminer les coefficients de l'équation.

On peut rapporter facilement, dans ce cas, la position du foyer à l'oculaire : on déplace l'écran en verre dépoli jusqu'à ce qu'il arrive au contact de la face externe de l'oculaire; une lecture faite alors sur la règle graduée donne l'abscisse de cette face par rapport à la même origine que celle à laquelle sont rapportées toutes les abscisses.

J'ai fait d'abord une série d'expériences en prenant un cathétomètre comme règle graduée; puis j'ai trouvé plus commode ensuite de me servir de la règle et des supports d'un banc de diffraction. Les opérations sont rapides et l'on arrive facilement à une grande précision.

J'ai appliqué les deux méthodes notamment à l'étude complète d'un microscope de Nachet en prenant les diverses combinaisons d'objectifs et d'oculaires : je me bornerai à résumer les résultats de ces mesures, sans m'arrêter aux recherches faites sur d'autres appareils.

Valeurs de la distance focale.

Numéros des objectifs.	Numéros des oculaires.		
	1.	2.	3.
	mm	mm	mm
2	9,80	7,00	»
3	3,90	3,00	2,00
4	2,35	1,85	1,20
5	1,35	1,05	0,72
6	0,83	0,60	0,43

Valeurs de la distance du foyer à la face externe de l'oculaire.

Numéros des objectifs.	Numéros des oculaires. 1.	2.	3.
	mm	mm	mm
2	17,0	8,0	»
3	14,5	8,5	6,5
4	14,3	5,5	»
5	15,0	7,5	5,5
6	14,2	8,0	5,5

Ces résultats montrent que, si, pour la valeur de la distance focale, l'influence des deux lentilles se fait également sentir, il n'en est pas de même pour la position du foyer qui dépend surtout de l'oculaire employé.

Les différences observées sont notables et elles sont telles qu'elles ont une influence réelle; si, en effet, par l'emploi de l'oculaire 1, on peut faire usage du microscope en plaçant le centre optique de l'œil entre l'oculaire et le foyer, il ne peut certainement en être ainsi avec les oculaires 2 et 3. Cette différence fait que, pour avoir le plus fort grossissement, l'œil doit être à l'état d'accommodation maxima dans un cas, et à l'état d'accommodation nulle dans l'autre cas.

Si cette différence de position peut n'avoir pas grande importance au point de vue de la puissance de l'instrument, parce que la valeur absolue de δ est toujours très petite par rapport à d, il n'est pas indifférent au point de vue physiologique de se servir du microscope avec ou sans accommodation, et nous pensons qu'il y aurait intérêt à ce que l'on se préoccupât de cette considération dans la construction des microscopes.

Nouveau focomètre pour la détermination des constantes optiques des systèmes dioptriques en général; par M. G.-E. Mergier.

Le numérotage des verres d'Optique en *dioptries* est aujourd'hui universellement accepté et l'on peut dire qu'il rend les plus grands services. Mais les *systèmes* de plusieurs lentilles, tels que *doublets, triplets, objectifs* et *oculaires* de microscope, *loupe* de Bruke, etc., ont été laissés à l'écart, bien que théoriquement ils puissent être ramenés aux données des verres simples : *deux points nodaux, deux plans focaux, deux plans principaux, deux plans antiprincipaux* ou *principaux inverses*. La raison de cette exclusion tient principalement à la difficulté que présente, dans ces systèmes, la mesure de la distance focale vraie, c'est-à-dire comptée du *plan focal* au *plan principal* correspondant. Ces deux plans sont, en effet, deux inconnues.

Les focomètres construits jusqu'à ce jour, le focomètre de Silbermann par exemple, donnent d'excellents résultats appliqués aux lentilles minces. On prend ordinairement pour origine des distances la surface ou le plan médian de la lentille.

On agit de même dans le cas des lentilles épaisses et, grâce à une légère correction, on obtient encore un résultat satisfaisant. Cette correction consiste à augmenter ou diminuer, selon le cas, le nombre obtenu d'une quantité égale à $\frac{1}{8}$ de l'épaisseur de la lentille.

Mais l'application de ces instruments cesse d'être possible, lorsqu'il s'agit des *systèmes dioptriques* dont nous venons de parler. La puissance de ces systèmes est cependant une donnée des plus importantes, car elle nous renseigne sur leur *pouvoir grossissant*.

Les *objectifs* et les *oculaires de microscope,* par exemple, offrent, à ce point de vue, un intérêt tout particulier.

Aussi est-ce principalement sur ces derniers que s'est portée l'attention des constructeurs. Toutefois, malgré les efforts tentés dans ce sens, les *numéros* gravés sur leur monture métallique n'apprennent rien de leur *puissance*. Souvent celle-ci varie dans

des proportions appréciables entre les objectifs ou les oculaires de même numéro d'un même constructeur; et, lorsqu'on passe d'un constructeur à un autre, on ne trouve plus aucune relation de puissance entre deux objectifs et deux oculaires marqués du même chiffre. Chaque constructeur a son système de numérotage *personnel,* purement arbitraire, qu'il modifie au besoin selon les commodités de la construction. Aussi les numéros des objeetifs et des oculaires ne sont-ils que des numéros d'ordre d'une valeur très relative.

Toutefois, certains constructeurs français et étrangers donnent les *distances focales* de leurs *objectifs* en pouces.

Cette *distance focale* est ordinairement calculée d'après le grossissement que fournit le microscope armé de cet *objectif.* Mais on sait que le *grossissement* varie avec la *vue* de l'observateur et avec la *mise au point;* aussi les nombres ainsi obtenus ne sont-ils pas de la dernière exactitude. D'ailleurs ce mode de graduation n'est pas général.

Nous nous sommes proposé de résoudre les difficultés inhérentes à ces mesures délicates en faisant usage d'une méthode nouvelle et d'un instrument construit spécialement dans ce but sur nos indications. Nos essais ont principalement porté sur des *oculaires* et des *objectifs* de microscope. Grâce aux bienveillants conseils de notre maître, M. le professeur Gariel, les résultats que nous avons obtenus nous ont pleinement satisfait et nous engagent à persévérer dans cette voie.

Principe de l'instrument.

La construction de notre focomètre repose sur le principe suivant :

Étant donnée une image égale à l'objet, pour avoir une image double, dans le même plan, il faut éloigner le système optique d'une quantité exactement égale à la distance focale et l'objet d'une quantité moitié.

Dans la formule $\frac{O}{I} = \frac{l}{f} = \frac{f}{l'}$, qui donne les relations de position et de grandeur de l'image par rapport à l'objet, si nous faisons

I = O, nous aurons

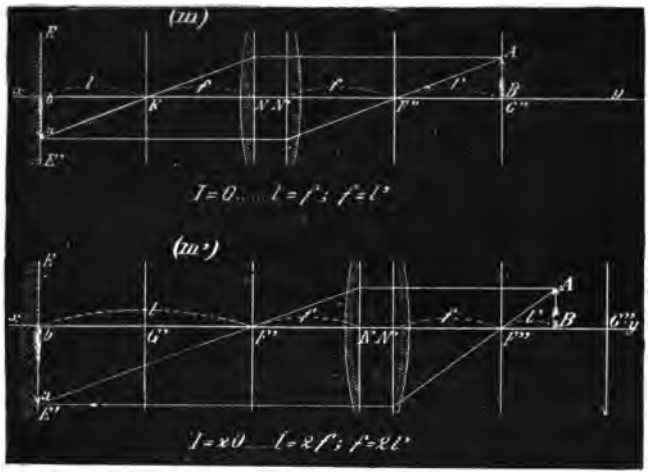
$$l = f \quad \text{et} \quad f = l'.$$

Si nous faisons I = 2O, nous aurons

$$l = 2f \quad \text{et} \quad f = 2l'.$$

On peut encore, par une simple construction géométrique, mettre le fait en évidence, ainsi qu'on peut s'en rendre compte par la *fig.* 1.

Fig. 1.

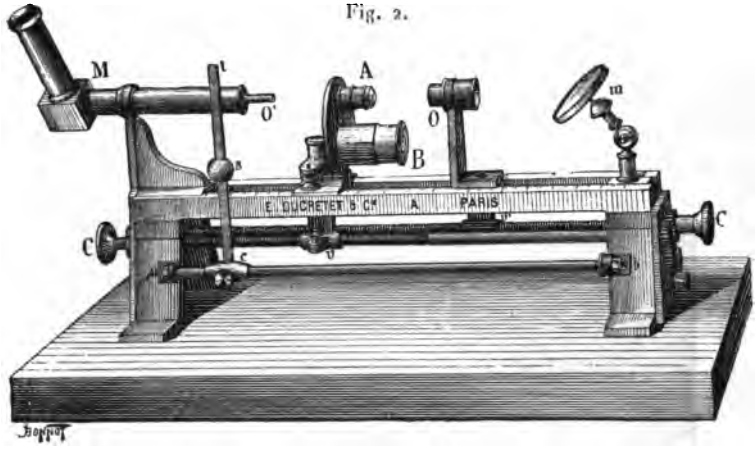


Nous prenons donc pour origine des mesures des points nettement déterminés : les deux plans principaux inverses.

Description. — Cet instrument, construit par M. Ducretet, se compose d'un banc métallique horizontal sur lequel glissent deux supports verticaux (*fig.* 2). L'un est muni d'un *micromètre* O, l'autre d'un disque métallique portant un *objectif* A et un *oculaire* B que l'on peut amener successivement dans l'axe de l'appareil et changer à volonté. En O′ se trouve, occupant une position fixe, un second micromètre avec des divisions exactement égales à celles du premier O. Un *microscope* coudé à angle droit M permet de voir ces divisions ainsi que l'image, fournie par le système optique à mesurer, de celles qui sont en O. Les deux micromètres (*fig.* 3)

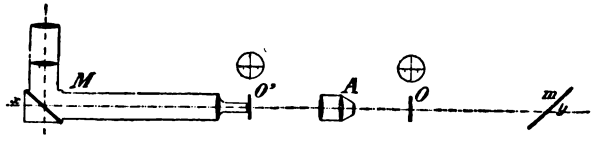
sont éclairés par un miroir *m*, placé en arrière et réfléchissant, suivant l'axe de l'instrument, la lumière du jour ou celle d'une source artificielle quelconque.

Fig. 2.



Les supports du système optique A du micromètre O sont munis d'écrous à leur partie inférieure, dans lesquels s'engagent deux vis micrométriques *v* et *v'*. Ces vis, placées au-dessous du banc horizontal, en occupent toute la longueur : elles peuvent être rendues solidaires ou indépendantes l'une de l'autre à volonté, à l'aide de

Fig. 3.



deux systèmes de roues dentées *c* et *c'* combinées de façon à obtenir un nombre de tours double de l'une par rapport à l'autre. Cette disposition spéciale évite les tâtonnements de réglage et de *mise au point,* si longs et si difficiles dans certains *focomètres.*

Usages de l'instrument.

Cet instrument ne permet pas seulement, comme son nom semble l'indiquer, de mesurer la distance focale ; il permet, d'une

façon générale, de déterminer les constantes optiques d'un système dioptrique quelconque. Cette détermination comprend trois opérations successives :

1° La détermination des plans principaux inverses;
2° La mesure de la distance focale;
3° L'indication de la position des plans principaux.

I. *Détermination des plans principaux inverses.* — Cette détermination se fait par la méthode ordinaire, la recherche de l'*image égale*. On éclaire d'abord les divisions O et O′ à l'aide du miroir *m* et l'on place en A, sur l'axe de l'appareil, l'*objectif* (par exemple) à mesurer, que l'on centre avec soin au moyen de mouvements de latéralité et de verticalité dont le support est muni.

Un système de débrayages ménagés dans les écrous *v* et *v′* permet alors de rendre libres les pièces correspondantes.

On déplace avec la main les deux supports mobiles, de manière à obtenir dans le microscope l'image des divisions du micromètre O en même temps que celles de O′. On replace les écrous sur les vis et l'on tourne l'une et l'autre indépendamment à l'aide des boutons C et C′, jusqu'à ce que les deux images soient absolument égales.

A ce moment l'instrument est *au point*; les micromètres O et O′ se trouvent dans les deux plans *principaux inverses* du système optique A, lesquels sont ainsi déterminés. Nous faisons une double lecture sur le banc horizontal, notant les divisions avec lesquelles coïncident exactement les zéros des deux verniers dont sont munis les supports A et O.

II. *Mesure de la distance focale.* — Il s'agit maintenant d'obtenir en O′ une image deux fois plus grande des divisions O.

Nous avons dit qu'il suffisait, pour cela, d'éloigner le système optique A d'une quantité égale à la distance focale et l'objet O d'une quantité moitié. Ce déplacement se fait pour ainsi dire automatiquement dans l'instrument. On engrène les deux vis *v* et *v′* avec le système de roues dentées qui se trouve en *c* à l'une des extrémités de l'appareil, et l'on tourne les boutons *c* ou *c′* : le système optique A s'éloigne alors d'une quantité 1, tandis que le

micromètre O ne s'éloigne que de $\frac{1}{2}$. Pendant cette opération l'œil fixé sur le microscope voit d'abord l'image des divisions O disparaître; puis, au bout d'un certain nombre de tours, celles-ci reparaissent, deviennent nettes et sont à ce moment deux fois plus grandes que les divisions O'.

On fait alors une seconde lecture pour avoir par différence les déplacements du système A et de l'objet O. Le premier donne la *distance focale* et le second la *moitié* de cette distance. Les deux lectures se contrôlent réciproquement. Cette distance focale est ainsi obtenue avec moins de $\frac{1}{10}$ de millimètre d'erreur.

III. *Indication de la position des plans principaux.* — La distance focale et la position des plans principaux inverses étant connues, il devient très facile de déterminer la position des *plans principaux* du système optique.

L'instrument est muni dans ce but d'un petit curseur *c* se déplaçant parallèlement au banc horizontal, sur la tige *ab*. Ce curseur porte une branche verticale *et* sur laquelle glisse une petite masse métallique *s* armée d'une pointe en acier du côté de l'axe de l'instrument. On opère à l'aide de cet appareil de la façon suivante :

1° Les micromètres O et O' sont de nouveau amenés dans les *plans principaux inverses;*

2° On détermine à l'aide de la pointe du curseur les divisions du banc horizontal qui coïncident avec les plans principaux inverses;

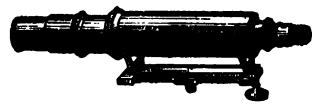
3° A partir de ces plans, on fait glisser, de part et d'autre successivement, le curseur vers l'objectif, en comptant deux fois la distance focale. La pointe du curseur se trouve à chaque fois dans le *plan principal* correspondant, qui est ainsi nettement fixé. Il suffit de l'appliquer sur la monture métallique du système optique pour y faire deux traits qui marquent les positions des plans principaux.

Application de l'instrument à un système dioptrique quelconque. — On détermine par le même procédé les constantes optiques d'un *oculaire* de microscope. Cet *oculaire* est placé en

B; il suffit de tourner le plateau sur lequel il est monté pour l'amener dans l'axe de l'appareil.

Mais un des résultats les plus intéressants obtenus avec ce *focomètre* consiste dans la détermination des constantes optiques du microscope considéré dans son ensemble. On remplace pour cela le support sur lequel se montent les objectifs et les oculaires, tels que A et B, par un support spécial (*fig.* 4) sur lequel on place

Fig. 4.



le microscope avec telle ou telle combinaison d'objectif et d'oculaire que l'on veut, et l'on procède comme il vient d'être dit.

Le numérotage des objectifs et des oculaires en dioptries, la détermination de la position de leurs plans principaux, ces mêmes mesures appliquées au microscope pris dans son ensemble et à tous les instruments grossissants, en général, tels sont donc en résumé les résultats obtenus à l'aide du focomètre que nous venons de décrire. Nous pensons avoir réalisé les vœux que forment depuis longtemps les micrographes pour l'unification du système de numérotage des objectifs de microscope. Nous osons espérer qu'ils aideront à l'application de ces mesures en exigeant des constructeurs que chaque instrument porte avec lui l'indication de ses constantes optiques.

Ainsi se généralisera peu à peu le *système d'unités dioptriques* établi par le Congrès d'Ophtalmologie de Bruxelles, en 1875.

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1887.

PRÉSIDENCE DE M. DE ROMILLY.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 16 juillet 1887 est lu et adopté.

M. Wolf, indisposé, s'excuse de ne pouvoir assister à la séance et prie M. de Romilly de vouloir bien donner lecture de la Note suivante :

« La Société a éprouvé, pendant les vacances, des pertes nombreuses et

qui seront vivement senties. La veille même de notre dernière séance, le 16 juillet, mourait un de nos Confrères les plus aimés et les plus distingués. Alfred Terquem, correspondant de l'Institut, professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Lille, était enlevé subitement à la Science et à l'affection de sa famille par un mal qu'il portait depuis plusieurs années avec un courage stoïque. Né à Metz, le 31 janvier 1831, d'une famille dont le nom était déjà bien connu dans les Sciences mathématiques et géologiques, élève de l'Ecole Normale en 1849, puis successivement professeur à Metz, à Châteauroux, préparateur à l'École, professeur aux Facultés des Sciences de Strasbourg, de Marseille et de Lille, Terquem a laissé partout le souvenir d'un camarade et d'un Collègue éminemment sympathique et serviable, d'un professeur disert et admirablement clair dans son enseignement, d'un travailleur infatigable et souvent heureux dans ses recherches scientifiques. Je rappellerai surtout qu'il a eu le très grand mérite d'être presque seul en France, pendant plusieurs années, le représentant d'une des parties de la Physique trop abandonnée aujourd'hui, l'Acoustique, au développement de laquelle il a contribué par d'importantes recherches. Ses travaux et sa vie ont été retracés par une plume amie, dans une Notice que nous avons tous lue avec émotion et gratitude. Le titre de correspondant de l'Académie des Sciences était venu honorer et consoler les derniers jours de notre ami. Il n'en a pas joui longtemps; mais ni les savants ni ses camarades et Collègues n'oublieront sa mémoire.

» J'ai moins connu un autre Collègue, enlevé aussi, il y a quelques jours, à notre Société, M. Bourget, recteur de l'Académie de Clermont. Je l'ai connu assez pour apprécier la haute valeur de ce savant modeste, mais profondément érudit, et la grâce de son caractère.

» Elève de l'École Normale en 1842, dix ans après il était docteur ès Sciences mathématiques et professeur à la Faculté de Clermont dès sa fondation. Plus tard, il accepta les fonctions de directeur des études à Sainte-Barbe, puis il fut nommé recteur à Clermont-Ferrand. C'est là qu'il est mort en septembre.

» Ses travaux ont eu pour objet les Mathématiques pures, la Mécanique, la Physique mathématique et surtout la Mécanique céleste. Je citerai seulement ses Mémoires sur les séries de Taylor et de Maclaurin; sur les permutations; sur le rendement des machines thermiques; sur la théorie mathématique des expériences de Pinaud, ou le son produit par la rentrée de l'air dans une boule de thermomètre après qu'elle a été échauffée; sur les vibrations des membranes; sur l'influence de la rotation de la Terre sur le mouvement des corps pesants à sa surface. Au point de vue de la Mécanique céleste, Bourget a étudié l'attraction des paraboloïdes elliptiques, la fonction perturbatrice, l'application des nombres de Cauchy, le développement en série des coordonnées d'une planète, les conditions d'équilibre de l'anneau de Saturne et l'hypothèse cosmogonique de Laplace. Au milieu des multiples travaux de l'administration, Bourget a su conserver encore

le temps de poursuivre ses recherches mathématiques, et il a pu en mourant se dire que sa vie d'homme de science avait été bien remplie.

» Notre Société, Messieurs, ne comprend pas uniquement des savants et des chercheurs. Aux uns et aux autres, il faut l'aide d'un artiste pour qu'ils puissent faire connaître les détails de leurs expériences. Tous ceux d'entre nous qui ont eu à faire graver les dessins de leurs appareils avaient apprécié le talent et l'aménité de caractère de M. Perot. La Société a perdu par sa mort un de ses Membres fondateurs et un de ses collaborateurs les plus utiles, beaucoup d'entre nous un véritable ami.

» J'ai encore le douloureux devoir de vous faire part de la mort de M. Gower, un Ingénieur électricien bien connu dont le nom restera attaché à des découvertes utiles;

» De M. Couvreux, juge au tribunal de Châtillon-sur-Seine, et de M. Bertholomey, professeur au collège de Tulle. »

M. le Secrétaire général signale dans la Correspondance : 1° une Note de M. Bandsept *Sur l'imprégnation des tissus par pulvérisation;* 2° l'envoi par M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts du programme du Congrès des Sociétés savantes à la Sorbonne en 1888, et annonce qu'un grand Concours international des Sciences et de l'Industrie et une Exposition universelle internationale auront lieu à Bruxelles en 1888.

M. Mascart présente à la Société un appareil de M. Colladon pour la reproduction artificielle des trombes. Cet appareil se compose d'un grand vase de verre cylindrique à fond concave, rempli d'eau et au fond duquel on a mis un peu de sciure de bois; vers les trois quarts de sa hauteur se trouve un agitateur à palettes mobile autour d'un axe vertical coïncidant avec l'axe du vase.

Quand on fait tourner cet agitateur avec une vitesse modérée, la sciure de bois s'élève, au bout de quelques instants, jusqu'aux palettes, en une colonne ondoyante dont l'aspect rappelle celui des trombes aériennes. Avec une vitesse de rotation plus grande, on voit en même temps la surface de l'eau se creuser en forme d'entonnoir et descendre jusqu'à l'agitateur.

Pour M. Mascart, il n'y a qu'une analogie apparente entre cette expérience et les tornados; elle semble, au contraire, reproduire fidèlement les tourbillons des rivières et rendre compte des affouillements que ces tourbillons déterminent toujours au fond des cours d'eau (1).

M. Gernez, dans une précédente Communication (séance du 18 mars 1887), avait exposé les résultats de ses recherches sur les modifications que des additions successives de molybdate de soude faisaient subir au pouvoir rotatoire de l'acide tartrique.

---

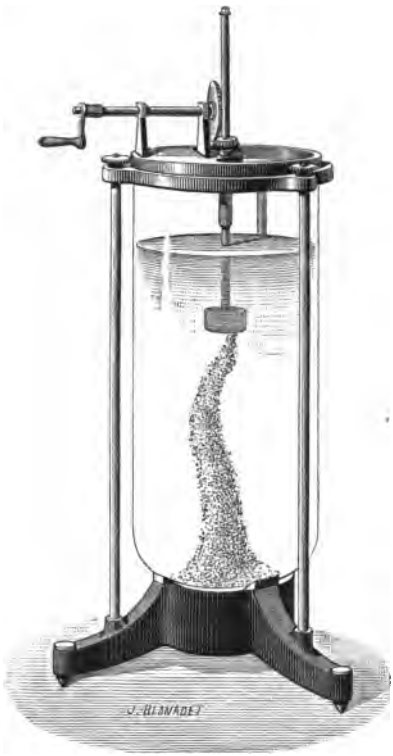
(1) La figure ci-jointe montre le relevé d'une photographie instantanée, prise à l'instant même où la trombe atteint la roue à palettes, qu'on tourne avec une

M. Gernez a étudié par le même procédé l'action du molybdate d'ammoniaque qui, lui aussi, donne naissance à des rotations considérables devant lesquelles l'action, sur la lumière polarisée, de l'acide tartrique resté libre est sensiblement négligeable. Cette étude a donné les résultats suivants :

Quand on ajoute à 1^{éq} d'acide tartrique des poids successifs de molybdate, les rotations croissent à peu près proportionnellement à la quantité de sel ajouté, jusqu'à ce que celle-ci atteigne $\frac{1}{4}$ d'équivalent. Pour des quantités comprises entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ d'équivalent, l'augmentation de rotation, rapportée au même poids de sel, n'est plus que la moitié de ce qu'elle était

---

vitesse de quatre à cinq tours par seconde, en faisant faire un tour par seconde à la manivelle; mais si l'on continue de tourner avec la même vitesse, la trombe devient *cylindrique* ou *presque cylindrique*.



Si l'on tourne beaucoup plus vite, l'air descend quelquefois jusqu'à la roue à palettes, et l'on a deux trombes, l'une ascendante et l'autre descendante, qui luttent et se croisent.

d'abord. Pour $\frac{1}{3}$ d'équivalent, on observe un maximum de rotation qui persiste jusqu'à $\frac{7}{8}$ d'équivalent environ. Pour des quantités de sel plus grandes, la rotation diminue rapidement jusqu'à $1^{éq}$ pour garder, au delà, une valeur constante.

Ces résultats s'interprètent de la manière suivante : le molybdate d'ammoniaque se combine d'abord en totalité à l'acide tartrique pour former un composé renfermant $\frac{1}{4}$ d'équivalent de molybdate pour $1^{éq}$ d'acide; puis, par des additions ultérieures, ce composé se transforme en un autre plus stable renfermant $\frac{1}{3}$ d'équivalent de sel; ce dernier, enfin, se détruit quand la proportion de sel dépasse $\frac{7}{8}$ d'équivalent et fait place à une troisième combinaison tout à fait stable et formée à équivalents égaux.

Il est intéressant de remarquer que, étant donnée la composition du molybdate d'ammoniaque, $7MoO^3, 3AzH^4O$, le composé à $\frac{1}{3}$ d'équivalent renferme précisément $1^{éq}$ d'ammoniaque pour $1^{éq}$ d'acide tartrique, ce qui le rapproche du composé à équivalents égaux d'acide tartrique et de molybdate de soude.

M. Maumené expose à la Société le résumé des recherches nouvelles qu'il a faites pour expliquer le désaccord des moyens qu'il avait indiqués en 1869 pour obtenir l'*inactose* et des propriétés qu'il avait reconnues à cette variété de sucre, intermédiaire entre le sucre normal dextrogyre et le sucre inverti lévogyre.

Plusieurs chimistes avaient cru pouvoir contester l'existence de l'inactose, non en répétant la préparation au moyen du sucre normal et de l'azotate d'argent, moyen dont M. Maumené faisait usage (en appliquant sa théorie générale de l'action chimique), mais en cherchant ce *sucre optiquement neutre* dans des conditions où sa formation paraissait naturelle, par exemple dans l'action du sucre et de CO^2, étudiée par von Lippmann.

On arrive par cette action à l'inversion complète du sucre, dont M. Maumené a, le premier, fait observer que le chiffre maximum est — 42° *au moins,* au lieu de 38° indiqué par Biot; ce que von Lippmann a confirmé plus tard en montrant que l'action de CO^2 conduit jusqu'à — 44°.

Dans le passage de + 100° à — 44°, von Lippmann a cherché l'inactose et n'a pas réussi à l'obtenir.

M. Maumené explique le désaccord d'une manière très simple :

Le sucre dont il s'était servi (la *poudre blanche* des fabriques), toujours un peu alcalin, permet à l'azotate d'argent d'influencer la constitution moléculaire du sucre juste au point de la rendre optiquement neutre, et de former une *espèce* bien définie. Ce sucre reste des mois entiers avec son inactivité, non seulement optique, mais chimique. Il n'agit pas avec la liqueur TCuK; il s'unit encore aux alcalis, à CaO notamment; mais CO^2 le sépare avec sa saveur sucrée et ses autres propriétés.

La plus faible trace d'acide en produit l'inversion rapide.

Le sucre candi *pur* ne produit pas l'inactose, parce que l'acide hexépique $C^{12}H^{12}O^{16}$, découvert par M. Maumené, acide dont on ne peut éviter la formation, détruit ce sucre à mesure de sa formation.

Ce même sucre candi, additionné de quelques dix-millièmes d'alcali, devient sur-le-champ tout à fait propre à donner l'inactose.

Les poudres blanches, neutralisées par quelques dix-millièmes d'acide, perdent immédiatement la faculté de le produire.

Avec l'acide CO^2, sous pression, l'inactose ne pouvait éviter l'inversion complète; von Lippmann ne pouvait en obtenir aucune trace.

On ne connaît pas le quartz neutre, mais l'acide tartrique inactif était un précédent. L'inactose offre ce caractère spécial d'être produit avec le sucre, dont on ne connaît pas de variété lévogyre.

M. Létang présente un nouveau régulateur de lumière électrique.

Cet appareil comporte deux organes différents : l'un, constitué par une sorte de frein, a pour mission de séparer les deux charbons et d'allumer l'arc; l'autre, qui se compose d'une trembleuse ordinaire, est chargé, au contraire, de rapprocher les charbons au fur et à mesure de leur usure. L'indépendance de ces deux organes permet d'arriver à une grande sensibilité dans le fonctionnement, sans nécessiter des soins spéciaux et minutieux dans leur construction.

Grâce à ces divers perfectionnements, l'appareil peut fonctionner indifféremment en tension ou en dérivation, même avec des intensités de courant électrique très faibles.

M. Létang fait fonctionner sous les yeux de la Société trois de ses appareils actionnés par une batterie de 30 éléments au bichromate de M. Trouvé et présente également une série de photographies des diamants de la Couronne, obtenues à la lumière d'un arc puissant entretenu au moyen de 60 éléments des mêmes piles, qui, pour cet usage spécial, ont montré une supériorité incontestable sur les accumulateurs.

M. Robin présente, pour la réduction du baromètre à 0°, un *abaque* exclusivement composé de lignes droites d'un tracé très facile.

Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude des composés formés par l'action du molybdate d'ammoniaque sur les solutions d'acide tartrique; par M. D. Gernez.

J'ai montré précédemment (1) que les solutions d'acide tartrique droit, mises en contact avec un grand nombre de substances sans action propre sur la lumière polarisée, peuvent éprouver des modifications qui se traduisent par un changement considérable dans la nature et la grandeur de leur pouvoir rotatoire qui peut

(1) Séance du 18 mars 1887, p. 70.

devenir, lorsqu'on emploie certaines substances, trente, quarante et jusqu'à soixante fois plus grand qu'il n'était avant l'addition de ces composés.

J'ai fait voir que l'on pouvait arriver à une interprétation relativement simple des phénomènes observés, si l'on comparait entre eux les résultats obtenus en faisant agir, sous le même volume et à la même température, sur un poids donné d'acide tartrique, des poids d'une autre substance représentant des fractions ou des multiples simples d'équivalents et j'ai indiqué les nombres relatifs à l'action qu'exercent sur une solution d'acide tartrique droit des poids de molybdate de soude graduellement croissants. L'inspection de ces nombres conduit aux remarques suivantes : 1° lorsqu'on ajoute à 1 équivalent d'acide tartrique des poids de molybdate de soude progressivement croissants jusqu'à $\frac{1}{2}$ équivalent, les rotations sont rigoureusement proportionnelles aux quantités de molybdate de soude; 2° pour des quantités de ce sel comprises entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{2}{3}$ d'équivalent, les rotations augmentent encore de quantités égales pour des additions égales, mais l'augmentation est plus grande que dans le cas précédent; 3° pour des additions ultérieures et jusqu'à 1 équivalent de molybdate de soude, les rotations continuent à augmenter; 4° dès que le poids de molybdate de soude atteint 1 équivalent, la rotation prend une valeur maxima qui n'éprouve qu'une très faible diminution pour des additions ultérieures qui peuvent porter la quantité totale à 7 équivalents.

On peut interpréter ces résultats en admettant que, dès que la première quantité de molybdate de soude est mise au contact de l'acide tartrique, elle se combine en totalité avec une partie de cet acide (1) pour donner un composé dont le pouvoir rotatoire est beaucoup plus grand que celui de l'acide, composé qui continue à se former pour chaque addition nouvelle de molybdate de soude jusqu'à ce que le poids total soit de $\frac{1}{2}$ équivalent.

---

(1) Le pouvoir rotatoire de ces composés étant très grand par rapport à celui de l'acide tartrique (il peut s'élever à trente-huit fois ce dernier), l'action de l'acide tartrique non combiné est assez faible pour que, dans la différence des rotations correspondant à deux expériences consécutives, elle soit de l'ordre des erreurs expérimentales.

Ce composé serait formé de 1 équivalent d'acide tartrique uni à $\frac{1}{2}$ équivalent de molybdate de soude et serait représenté par

$$C^8H^6O^{12}\tfrac{1}{2}(NaO, MoO^3).$$

L'addition de nouvelles quantités de sel donnerait lieu à la formation d'un nouveau composé, qui coexisterait dans le liquide avec une partie graduellement décroissante du premier jusqu'à la complète transformation de celui-ci. Ce résultat serait atteint lorsque tout l'acide tartrique se serait uni à 1 équivalent de molybdate de soude. Ce nouveau composé

$$C^8H^6O^{12}, NaO, MoO^3$$

aurait une stabilité assez grande pour n'être que très peu modifié par l'addition de six autres équivalents de molybdate de soude.

J'ai étudié, par le même procédé et avec le même dispositif expérimental, l'action qu'exerce le molybdate d'ammoniaque sur les solutions d'acide tartrique droit : les expériences ont été un peu plus laborieuses en raison de la coloration assez rapide des solutions, par suite de la réduction du molybdate d'ammoniaque.

Je transcrirai ici les données numériques d'une seule des séries d'expériences que j'ai effectuées : c'est la plus complète, et les autres, moins étendues dans un sens ou dans l'autre, conduisent tout à fait aux mêmes conséquences. Elle comprend l'étude de vingt et un liquides obtenus en ajoutant à 1 équivalent d'acide tartrique des quantités de molybdate d'ammoniaque croissant graduellement depuis $\frac{1}{512} = \frac{1}{2^9}$ d'équivalent jusqu'à $1^{eq},5$.

On les obtenait en dissolvant $2^{gr},5$ d'acide tartrique dans l'eau distillée, ajoutant la quantité pesée de molybdate d'ammoniaque et l'eau distillée suffisante pour amener le volume total à occuper 100^{cc} à la température de 17°, qui était aussi celle à laquelle on effectuait les mesures de rotations. La solution d'acide tartrique non additionnée de sel et observée dans le même tube de $105^{mm},7$ de longueur donnait une relation de $0^{\circ}21',6$.

Poids de molybdate d'ammoniaque.	Équivalents de ce sel pour 1^{éq} d'acide tartrique exprimés en $\frac{1}{128}$ d'équivalent.	Rotations observées.	Variations de la rotation pour des poids égaux de sel.
gr		° ′	
0,000	0,0	0.21,6	
0,0402	0,25	0.32,0	41,6
0,0805	0,5	0.42,5	42,0
0,161	1,0	1. 2,0	39,0
0,2415	1,5	1.21,0	38,0
0,322	2,0	1.41,0	40,0
0,482	3,0	2.21,0	40,0
0,644	$4 = \frac{1}{32}$	2.57,0	36,0
0,965	6,0	4. 5,0	34,0
1,288	8,0	5. 3,0	29,0
1,931	12,0	6.52,0	28,0
2,575	16,0	8.49,0	29,0
3,8625	24,0	13.22,0	34,0
5,150	$32 = \frac{1}{4}$	17.38,0	32,0
6,4375	40,0	19.50,0	16,0
6,866	$42,66 = \frac{1}{3}$	20.39,0	18,0
7,725	48,0	20.36,0	— 0,56
9,0125	56,0	20.35,0	— 0,12
10,300	64,0	19.47,0	— 6,00
15,450	96,0	17.28,0	— 4,34
20,600	128 = 1	16.44,0	— 1,37
30,900	192 = 1,5	16.33,0	— 0,17

L'examen de ces nombres conduit aux remarques suivantes : 1° les premières rotations croissent de quantités rigoureusement égales lorsqu'on ajoute des poids égaux de molybdate d'ammoniaque jusqu'à ce que ce poids soit à peu près $\frac{1}{32}$ d'équivalent de ce sel; pour des poids plus grands, jusqu'à $\frac{1}{4}$ d'équivalent, les nombres s'écartent un peu de la proportionnalité; 2° pour des quantités de sel comprises entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{3}$ d'équivalent, l'augmentation de rotation rapportée au même poids de sel change brusquement et devient à très peu près moitié de ce qu'elle était; 3° on observe un maximum dont la grandeur est cinquante-sept fois la rotation de l'acide tartrique et qui correspond à un poids de molybdate d'ammoniaque égal à $\frac{1}{3}$ d'équivalent; la rotation est très sensiblement constante pour des variations de poids de sel s'étendant de $\frac{42,66}{128}$ à $\frac{56}{128}$ d'équi-

valent; 4° pour des quantités plus grandes, la rotation diminue et prend une valeur à très peu près constante lorsque le poids de sel atteint 1 équivalent.

Ces résultats se prêtent à une interprétation analogue à celle que nous avons donnée pour le cas du molybdate de soude. Le molybdate d'ammoniaque, ajouté peu à peu à l'acide tartrique en excès, se combinerait en totalité avec une fraction de l'acide tartrique employé jusqu'à ce que le poids de sel fût de $\frac{1}{4}$ d'équivalent. Il se formerait une combinaison représentée par la formule

$$C^8H^6O^{12}, \tfrac{1}{4}(7MoO^3, 3AzH^4O, 4HO).$$

Cette combinaison éprouverait une modification brusque lorsque la quantité de molybdate d'ammoniaque passerait de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{4}$ d'équivalent. Il y aurait alors, aux dépens de tout l'acide tartrique et de la totalité du sel, formation d'un composé dont la formule serait

$$C^8H^6O^{12}, \tfrac{1}{3}(7MoO^3, 3AzH^4O, 4HO).$$

Ce composé, correspondant à la rotation maxima, est assez stable puisqu'il résiste aux additions de sel allant de $\frac{1}{3}$ à $\frac{1}{2}$ équivalent environ.

Pour des quantités de sel plus grandes, ce composé se transformerait en un autre de pouvoir rotatoire plus faible et qui serait formé d'équivalents égaux d'acide et de sel

$$C^8H^6O^{12}, 7MoO^3 3AzH^4O, 4HO.$$

Ce composé, stable dans des limites relativement étendues, persisterait malgré l'addition de $\frac{1}{2}$ équivalent de molybdate d'ammoniaque qui n'aurait sur la combinaison qu'un effet à peine appréciable.

Ainsi le molybdate d'ammoniaque, comme le molybdate de soude, donne avec l'acide tartrique des combinaisons dont le pouvoir rotatoire est considérable; les plus nettes de ces combinaisons correspondent à un maximum. Or, tandis que pour le molybdate de soude le maximum se produit pour équivalents égaux de ce sel et d'acide tartrique, avec le molybdate d'ammoniaque il se produit lorsqu'on emploie $\frac{1}{3}$ d'équivalent de ce sel. Mais, si l'on considère que l'équivalent du molybdate d'ammoniaque

contient 3 équivalents de base, tandis que celui du sel de soude n'en contient qu'un seul, on reconnaît que la rotation maxima correspond à la formation de composés qui pour 1 équivalent d'acide contiennent tous deux 1 équivalent de base.

Il résulte évidemment de ces expériences que l'addition de ces sels en quantités progressivement croissantes aux solutions d'acide tartrique ne donne pas lieu à autant de combinaisons qu'on réalise de liquides ayant une composition particulière, mais qu'il se forme au sein des liquides un petit nombre de composés dont quelques-uns sont très stables et qui résultent, comme dans le cas des composés ordinaires, de l'union de nombres simples d'équivalents de chaque substance. Il faut donc renoncer à l'hypothèse de l'existence de combinaisons en proportions continûment variables par laquelle Biot avait cru pouvoir traduire ses expériences, exactes d'ailleurs, sur les acides tartrique et borique.

Abaque barométrique;

par M. Paul Robin.

La correction à faire au baromètre, pour une température $\pm t$, est $\mp kht$. Pour une correction donnée C, les variables h et t sont les coordonnées d'une certaine hyperbole. En donnant à C une série de valeurs en progression arithmétique et en traçant le réseau des coordonnées et les courbes, on obtient un abaque réducteur à 0°.

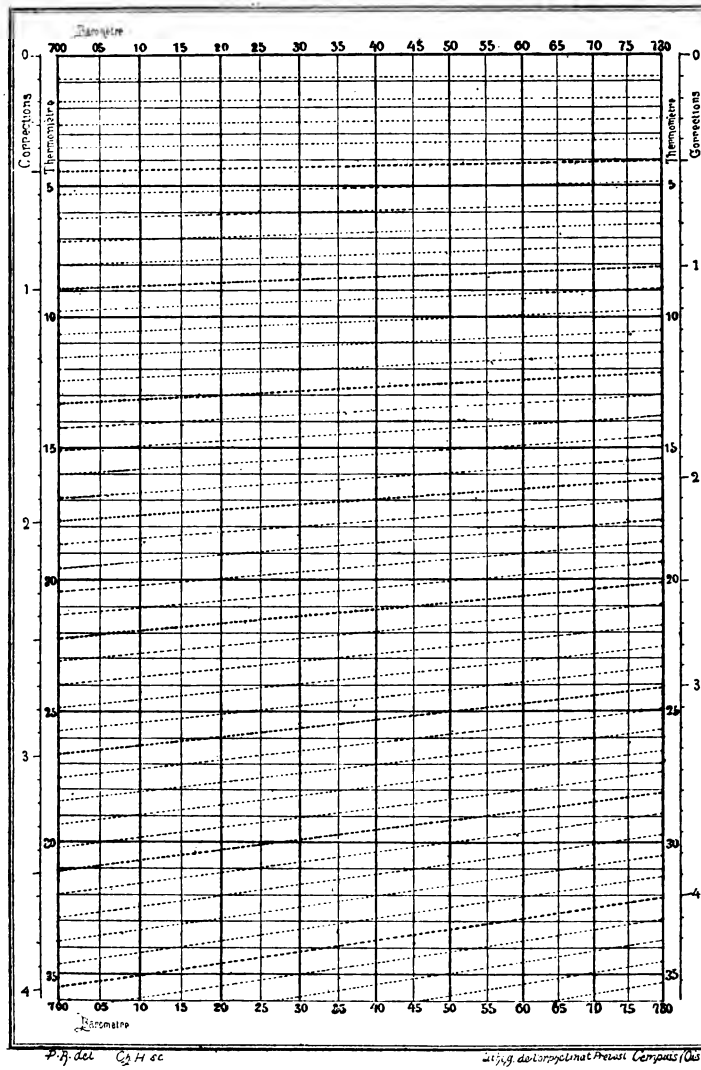
Mais le tracé des hyperboles est difficile et incertain : l'originalité de l'abaque présenté est de le remplacer par un tracé de lignes droites. Pour cela, il faut graduer l'axe des h non en parties égales, mais en parties décroissantes proportionnelles aux valeurs des ordonnées $\frac{c}{kh}$.

Cette graduation s'obtient à l'aide de la construction simple qui donne la perspective d'un rectangle divisé en parties égales par des parallèles à la hauteur.

Pour construire cet abaque, on détermine d'abord à sa conve-

nance la dimension à lui donner, puis on le divise par des horizontales équidistantes sur lesquelles se liront les hauteurs du

ABAQUE RÉDUCTEUR A 0° DES OBSERVATIONS BAROMÉTRIQUES.



thermomètre. On détermine l'une des droites de correction C par deux points dont les coordonnées h, t et h', t' satisfont aux condi-

tions $kht = C$, $kh't' = C$. La distance à l'origine d'une ordonnée h est donnée par la formule $\frac{A}{h_0} - \frac{A}{h_n}$, la constante étant déterminée par cette condition que $\frac{A}{h_0} - \frac{A}{h_n}$ est égale à la largeur choisie pour l'abaque, h_n étant la hauteur barométrique maximum portée sur l'appareil.

Dans l'abaque présenté, tout devient très simple : les hauteurs extrêmes sont : 700 et 780. La ligne de correction pour 4^{mm} sur les ordonnées extrêmes est déterminée par les deux valeurs de t, $\frac{4}{700k} = 35^\circ,4$ et $\frac{4}{780k} = 32^\circ,1$.

Les verticales 710, 720, etc., s'obtiennent par une construction familière aux perspecteurs, parallèles aux bases d'un trapèze, menées par le point de rencontre des diagonales.

Les lignes de correction de dixième en dixième de degré ont été obtenues en divisant en 40 parties les deux bases verticales du trapèze et joignant les points correspondants.

On se sert de cet abaque comme de tous les autres; une pointe mousse ou un angle de papier en facilite l'emploi. Placer cette pointe ou cet angle au point correspondant aux valeurs de h et de t observées. Lire sur quelle courbe (droite) de correction ou entre quelles courbes se trouve ce point et, dans ce dernier cas, le plus fréquent, interpoler à vue le $\frac{1}{20}$, le $\frac{1}{50}$ ou même le $\frac{1}{100}$ de millimètre.

Retrancher ou ajouter la correction à l'observation primitive.

Sur l'influence de la pression dans l'altération des chlorures par l'eau (1);

par M. G. Foussereau.

Dans un précédent travail (2), j'ai appliqué la mesure des ré-

---

(1) Extrait d'un Mémoire plus étendu publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XII, p. 393.

(2) *Voir* Séance du 4 mars 1887, p. 48.

sistances électriques à l'étude des modifications lentes éprouvées par les chlorures métalliques dans leurs dissolutions étendues, sous l'influence des diverses circonstances de temps, de température, de concentration et de composition des liquides observés.

La même méthode est applicable à l'étude des modifications éprouvées par ces dissolutions sous l'influence des variations de la pression. C'est ce point que je me suis proposé d'étudier dans ce travail.

Comme les phénomènes observés sont très lents, on a pu effectuer toutes les mesures de résistances dans des conditions comparables, c'est-à-dire à une température voisine de 15° et sous la pression ordinaire de l'atmosphère. La marche adoptée dans les expériences consistait donc à déterminer une première fois la résistance d'une dissolution conservée à la température ordinaire pendant un temps assez long pour qu'on pût la regarder comme arrivée à son état d'équilibre. On soumettait ensuite ce liquide à une pression élevée pendant un temps déterminé, puis on le décomprimait et l'on faisait, aussitôt après cette opération, une nouvelle mesure de résistance, suivie d'une série d'autres mesures convenablement espacées.

J'ai employé le dispositif suivant. Le liquide à expérimenter est introduit dans une éprouvette cylindrique en verre AB, de 48^{cm} de hauteur et d'une capacité de 70^{cc}. Cette éprouvette est fermée par un bouchon creux C, usé à l'émeri, dont la cavité se prolonge par un tube capillaire CDE recourbé parallèlement à la longueur de l'éprouvette. Le tube est muni d'un renflement F, d'une capacité d'environ 2^{cc}, rempli aussi du liquide de l'expérience. Son extrémité ouverte terminée par un entonnoir G, plein d'air, plonge dans le mercure d'un grand bloc d'acier où l'appareil est enfermé.

Ce bloc est mis en communication avec une pompe Cailletet fournissant la pression nécessaire. La compressibilité du liquide a pour effet de faire rentrer à l'intérieur de l'éprouvette une partie de la dissolution contenue dans le renflement F. La masse d'air contenue en G se loge en partie dans le tube capillaire CDF. Le liquide de l'éprouvette est ainsi préservé du contact du mercure qui en est séparé par la longue colonne capillaire. L'appareil

demeure pendant l'expérience dans une salle de laboratoire dont la température varie peu.

Les expériences ont porté sur le perchlorure de fer et sur le chlorure d'aluminium. Pour étudier le premier de ces sels, j'ai choisi d'abord une dissolution très étendue, dont l'altération est relativement assez rapide. J'ai pu ainsi obtenir un effet sensible par une application peu prolongée de la pression. La dissolution employée contenait $\frac{1}{33260}$ de perchlorure de fer et était préparée depuis trois mois.

Fig. 1.

Immédiatement avant la compression, ce liquide était parvenu à une résistance correspondant à l'altération $K_0 = 0,9753$. Cette dissolution fut maintenue pendant 90 minutes à une pression de 175^{atm}.

Aussitôt après la compression, la résistance avait diminué de 0,0102 de sa valeur. Cette variation correspond à un accroissement de l'altération qui a pris une valeur voisine de l'unité

$$K = 0,9989,$$

augmentant ainsi de 0,0236 de sa valeur. Le liquide abandonné à lui-même retourne ensuite peu à peu à son état primitif.

Le changement d'altération ne pouvait, dans ce premier exemple,

atteindre une grande valeur, puisque le liquide essayé a déjà subi à la pression ordinaire une altération peu différente de l'unité. Il y avait donc lieu d'étudier le phénomène sur un liquide plus concentré, dont la limite d'altération, dans les conditions ordinaires de température et de pression, diffère beaucoup de l'unité.

J'ai expérimenté, dans ce but, sur une dissolution contenant $\frac{1}{5444}$ de perchlorure de fer préparée depuis un an. Après 10 heures de compression, la résistance a diminué de $\frac{1}{25}$ de sa valeur, et de $\frac{1}{22}$ après 24 heures. Les accroissements d'altération correspondants atteignent $\frac{1}{15}$ et $\frac{1}{13}$; le retour à l'état primitif, après la décompression, s'effectue lentement, comme on pouvait le prévoir. Il n'est pas encore complet après 135 jours, mais l'accroissement d'altération s'est alors réduit à $\frac{1}{69}$.

Il restait à examiner si le perchlorure de fer constitue un cas isolé, ou si les autres chlorures dont j'ai étudié l'altération lente et spontanée se comportent comme lui sous l'influence des variations de pression. J'ai choisi comme nouvel exemple une dissolution de chlorure d'aluminium au $\frac{1}{20485}$, et j'ai constaté que la résistance diminuait de $\frac{1}{132}$ de sa valeur, sous l'influence d'une compression à 250^{atm} pendant 19 heures 40 minutes. Le retour à l'état primitif a lieu comme dans les cas précédents.

En résumé, les grandes variations de la pression exercent une influence notable sur la limite d'altération des chlorures. Cette influence consiste, dans les cas étudiés, à faire croître l'altération du liquide, à mesure que la pression croît. La vitesse d'altération est aussi plus grande sous les fortes pressions que sous la pression atmosphérique.

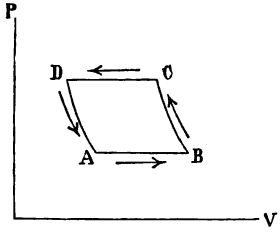
L'application des principes de la Thermodynamique aux faits qui précèdent permet d'en tirer une conséquence nouvelle.

Supposons qu'on fasse éprouver à une masse du liquide considéré une série de modifications à température constante, constituant un cycle fermé. Les états successifs que prend le corps peuvent être représentés par un contour rapporté à deux axes sur lesquels on porte les volumes et les pressions. Prenons le liquide à une certaine pression p, et supposons son altération initiale plus grande que la limite correspondant à cette pression. Le corps, abandonné à lui-même sous pression constante, se rapprochera de cette limite. Cette modification chimique aura, en général, pour

effet, de changer le volume du corps dans un certain sens. La transformation éprouvée sera donc représentée par une droite horizontale AB.

Comprimons maintenant le liquide jusqu'à une pression nouvelle p'. Ce changement sera représenté par une ligne telle que BC. Si nous abandonnons le liquide à lui-même à cette nouvelle pression, son altération augmentera, puisque la limite d'altération croît à mesure que la pression s'élève. Une droite horizontale CD figurera ce nouveau changement. Enfin ramenons le liquide à la

Fig. 2.



pression p, en opérant de manière à lui faire reprendre son état primitif : le cycle se fermera par la courbe DA.

L'aire de ce cycle représente un travail dépensé par le corps, si le contour est parcouru dans le sens des flèches. Il représente un travail fourni par le corps, s'il est parcouru en sens contraire. Ce dernier parcours ne peut être réalisé, puisqu'il entraînerait la production d'un travail par la consommation de chaleur empruntée au milieu ambiant, dont la température est supposée invariable pendant toute l'expérience. Le phénomène serait contraire au principe de Carnot [1]. La transformation ne peut donc avoir lieu que dans le sens des flèches. Le changement éprouvé à la plus haute pression doit entraîner une diminution de volume.

Il en résulte que dans le cas où nous sommes placés, d'après le résultat de l'expérience, c'est-à-dire quand l'altération limite croît avec la pression, l'accroissement d'altération à pression et tempé-

---

[1] M. Moutier a déjà fait remarquer que, si un système quelconque peu éprouver à température constante des transformations constituant un cycle fermé, le principe de Carnot conduit pour ce système à la condition $\int dQ < 0$, c'est-à-dire qu'il y a dégagement de chaleur et consommation de travail.

rature constantes correspond à une diminution de volume. Cela revient à dire que les produits de la décomposition réversible des chlorures de fer et d'aluminium par l'eau forment une dissolution d'une densité plus grande que le chlorure primitif. Cette variation de densité pourrait être nulle, mais elle ne peut changer de signe.

Sur la décomposition réversible de divers sels par l'eau (1); par M. G. Foussereau.

Les phénomènes de décomposition lente et limitée, que j'ai précédemment étudiés, sur les chlorures métalliques (2), se manifestent aussi dans un grand nombre d'autres substances. Les faits que j'exposerai dans ce travail se rapportent aux sulfates et aux acétates. L'étude de ces classes de sels a été faite par la mesure des résistances électriques, conformément à la méthode que j'ai décrite dans un précédent Mémoire.

I. — Sulfates.

Sulfate ferrique. — Quand on maintient longtemps à l'ébullition une dissolution de sulfate de peroxyde de fer, il s'y dépose peu à peu un sel basique qui a perdu la propriété de se redissoudre dans la liqueur refroidie. M. Berthelot a été conduit par l'observation de ce fait à penser que la décomposition du sel en acide et sulfate basique soluble pouvait être effectuée en partie au sein de la liqueur, avant toute précipitation.

La méthode calorimétrique n'ayant pas la sensibilité nécessaire pour constater directement cette décomposition, j'ai repris l'examen de cette question par la méthode électrique, en opérant sur des dissolutions très étendues. J'ai reconnu que la décomposition du sulfate ferrique présente les mêmes caractères que celle

---

(1) Extrait d'un Mémoire plus étendu publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. XII.

(2) *Voir* Séance du 4 mars 1887, p. 48.

du chlorure correspondant, avec cette différence cependant que le sulfate est plus stable et qu'il faut une dilution plus grande pour obtenir, même à 100°, l'altération complète. La résistance d'une dissolution contenant $\frac{1}{87,0}$ d'équivalent par litre a diminué des fractions suivantes de sa valeur primitive :

Températures.	Temps.	Diminutions de résistance.
15°	32 jours	0,0564
83	1 heure	0,0867
100	15 minutes	0,1032

A cette concentration, la diminution de résistance dépasse à peine $\frac{1}{10}$ de la résistance primitive.

Pour les concentrations $\frac{1}{896,4}$ et $\frac{1}{2175}$ d'équivalent, les altérations sont plus accentuées.

Sulfate d'alumine. — Le sulfate d'alumine se comporte de même. La marche de son altération est presque identique à celle du chlorure d'aluminium, c'est-à-dire que l'altération n'est sensible à froid qu'aux très grandes dilutions, tandis qu'elle a lieu à 100° pour des liqueurs assez concentrées. L'influence de la température est donc ici très marquée.

Alun. — L'addition d'un sulfate alcalin au sulfate dissocié pouvait apporter des modifications importantes dans la marche du phénomène. Il résulte en effet des expériences de M. Berthelot que, dans les dissolutions concentrées, l'acide sulfurique mis en liberté par la décomposition du sulfate métallique (sulfate ferrique) se combine au moins en partie avec le sulfate alcalin pour former un bisulfate dissous. S'il en est encore ainsi dans les dissolutions très étendues, le grand accroissement de conductibilité, qui résulte de la mise en liberté de l'acide sulfurique, disparaîtra ou sera très atténué. Il y aura simplement passage de l'acide d'une molécule saline à une autre, ce qui ne paraît pas devoir modifier la conductibilité dans de grandes proportions.

On trouve que la variation de conductibilité est peu différente de ce qu'elle serait si le sulfate d'alumine était seul dissous dans

l'eau. Il en résulte que, s'il y a production d'un bisulfate, ce phénomène doit être très limité à cette grande dilution. Ce résultat est d'accord avec celui de M. Berthelot, d'après lequel le bisulfate de potasse dissous se décompose à mesure qu'on fait croître la quantité d'eau.

En résumé, l'étude des sulfates que nous venons d'examiner conduit à des résultats très analogues à ceux que fournit l'étude des chlorures.

II. — Acétates.

Les acétates métalliques, notamment les acétates de zinc et de cuivre, déposent aussi peu à peu, quand on fait bouillir leurs dissolutions, un précipité d'acétate basique qui se forme à la longue, même à froid. M. Berthelot fait remarquer que cette précipitation est précédée d'un commencement de décomposition préalable fournissant des produits solubles; il n'a pas constaté de réversibilité dans cette décomposition préable, lorsqu'on opère sur des dissolutions contenant de $\frac{1}{2}$ à $\frac{1}{10}$ d'équivalent par litre.

En opérant sur des dissolutions étendues, j'ai reconnu que cette réversibilité y existe. Mais elle ne se manifeste nettement que pour des dilutions beaucoup trop grandes pour permettre l'application de la méthode calorimétrique.

Qurnd on abandonne à elle-même une dissolution d'un acétate métallique, on observe que sa résistance croît avec le temps, contrairement à ce qui a lieu pour les chlorures et les sulfates. Cette différence de sens dans le phénomène physique s'explique aisément, si l'on remarque que les acides sulfurique et chlorhydrique conduisent mieux que leurs sels, tandis que le contraire a lieu pour l'acide acétique et en général pour les acides organiques, d'après les mesures de M. Bouty.

Acétate de zinc. — L'exemple suivant permet de juger de l'importance des altérations de ce sel.

CONCENTRATION : $\frac{1}{55,2}$ D'ÉQUIVALENT PAR LITRE.

Températures.	Temps.	Accroissements de résistance.
15°	15 jours	0,0148
100	1 heure	0,0432
(Après refroidissement)..	7 jours	0,0172

Il existe pour chaque température une altération limite qui croît quand la température s'élève, et qui tend à reprendre la même valeur, chaque fois qu'on ramène le liquide aux mêmes conditions. Ce sont bien les caractères d'un phénomène réversible.

La décomposition de ces acétates présente cependant une marche très différente de celle des chlorures et des sulfates étudiés plus haut, en ce qui concerne l'influence de la concentration sur le phénomène. Dans ces derniers composés, l'altération va en croissant et tend vers l'unité, à mesure que la concentration diminue. Dans le cas actuel, au contraire, l'altération croît d'abord quand on étend la dissolution, atteint un certain maximum, puis diminue pour des dilutions plus grandes.

En examinant une série de dissolutions d'acétate de zinc de concentrations décroissantes, j'ai constaté que la variation relative de résistance passe par un maximum pour la concentration $\frac{1}{600}$ et décroît ensuite.

Acétate de cuivre. — Les phénomènes présentés par l'acétate de cuivre sont identiques à ceux que nous venons d'exposer relativement à l'acétate de zinc, avec cette différence cependant que les altérations varient pour l'acétate de cuivre entre des limites beaucoup plus étendues.

Acétate de plomb. — Ce sel est plus stable que les précédents. Il éprouve cependant à la température de 100° un commencement de décomposition réversible.

En résumé, les acétates étudiés subissent, avant toute précipitation, une altération réversible, avec production de sels basiques. Mais ils s'écartent des chlorures et des sulfates étudiés plus haut par l'influence très différente de la concentration. L'explication théorique suivante permettrait d'interpréter cette différence.

Les chlorures dissous donnent naissance, par leur décomposi-

tion, à un acide libre et à un hydroxyde ou hydroxychlorure, c'est-à-dire que le phénomène se réduit à la substitution, une ou plusieurs fois, du groupe HO^2 à Cl. Cette réaction n'exige que l'intervention d'une seule molécule du chlorure primitif, et la même observation peut être faite au sujet des sulfates.

Cette manière d'interpréter la réaction est d'accord avec ce fait, que l'altération tend à devenir plus complète à une température donnée, à mesure que la dilution croît, puisque la rencontre des produits formés, nécessaire pour amener la réaction inverse, devient de moins en moins fréquente.

Les phénomènes sont tous différents quand il s'agit des acétates de cuivre ou de zinc. Il résulte des expériences de M. Berthelot qu'il se forme dans la liqueur un acétate basique capable de donner lieu à un précipité par une modification nouvelle. L'hydroxyde ne se forme donc pas isolément dans la liqueur. Il s'unit à une ou plusieurs autres molécules d'acétate neutre pour donner l'acétate basique, de sorte que la réaction totale exige le concours simultané de *plusieurs* molécules d'acétate neutre.

Tant que le sel sera relativement abondant dans le liquide, la réaction pourra être favorisée par l'addition d'eau; mais, quand la dilution sera très grande, la rencontre des molécules d'acétate neutre deviendra moins fréquente et l'altération tendra à s'atténuer. On doit donc observer un maximum d'altération pour une certaine concentration, conformément au résultat de l'expérience. Mais je me hâte d'ajouter que ce résultat ne serait en rien compromis si ces vues théoriques se trouvaient inexactes.

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 18 novembre est lu et adopté.

Sont élus membres de la Société :

MM. Colardeau (E.), Professeur au Lycée Saint-Louis.
Nougaret, Professeur au Lycée de Périgueux.
Renault, Licencié ès Sciences physiques, à Paris.
Poincaré (Lucien), Agrégé, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

M. le Président offre à la Société, de la part de M. G. Rayet, une brochure intitulée : *Notes sur l'histoire de la Photographie astronomique.*

M. Cornu dépose sur le bureau, au nom de M. Salet, le premier fascicule d'un *Traité élémentaire de Spectroscopie.*

M. le Secrétaire général annonce l'envoi : 1° d'une Note de M. Delaurier : *Recherches sur les causes probables de l'explosion d'un récipient;* 2° du *Règlement de l'exposition universelle de Barcelone.*

M. Victor Popp donne des détails sur ses procédés de distribution de la force motrice par l'air comprimé, appliqués à Paris depuis quelque temps sur une grande échelle par la Compagnie Parisienne de l'Air comprimé.

Il montre les appareils qu'il emploie pour les installations de force motrice destinés soit à la petite industrie, soit à l'éclairage électrique d'établissements importants, tels que : le Café américain, l'hôtel du *Figaro,* le Café de Paris, le Café anglais, le Jardin d'Hiver, etc.

M. Popp décrit ensuite les canalisations qu'il a déjà installées dans toute la région de Paris comprise entre la ligne des boulevards et la rue de Rivoli, canalisations placées tantôt en égouts, tantôt en tranchées, et dont la longueur est d'environ 50^{km}.

M. Popp donne quelques détails sur l'usine qu'il vient de construire au n° 10 de la rue Saint-Fargeau, à Ménilmontant. Cette usine, dont la surface couverte est de plus de 2000^{mq} et qui occupe une superficie totale de 15000^{mq}, possède déjà sept machines à vapeur de 400 chevaux et deux machines de 100 chevaux, formant un total de 3000 chevaux de force et pouvant prendre dans l'atmosphère, chaque jour, 95000^{mc} d'air pour les distribuer dans Paris à 6^{kg} de pression. La consommation de charbon est, en pleine marche, de 50000^{kg} de charbon par jour.

En terminant cette conférence, écoutée avec un très vif intérêt, M. Victor Popp promet à la Société de Physique de lui communiquer ultérieurement les renseignements techniques les plus complets sur les diverses applications de ses procédés.

M. Dufet communique à la Société les résultats généraux d'une Étude sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans les cristaux clinorhombiques. Les mesures ont été faites à l'aide du microscope polarisant à spectroscope qu'il a présenté à la Société dans la séance du 18 juin 1886.

En général, l'angle que fait l'axe d'élasticité relatif à une couleur déterminée avec l'axe relatif à la raie D est très voisin d'une fonction linéaire de $\frac{1}{\lambda^2}$, c'est-à-dire qu'il suit à peu près la même loi que les indices eux-mêmes. Le borax, l'hyposulfite de soude, qui ont la dispersion croisée, la formiate de cuivre, l'hypophosphate monosodique, qui présentent une remarquable dispersion inclinée, suivent très exactement la loi. Le phosphate de soude ordinaire, et surtout le gypse, font exception; dans ce dernier corps, en

particulier, toutes les bissectrices des axes optiques sont d'un même côté de la bissectrice relative à la raie D.

M. P. Ledeboer présente, en son nom et au nom de M. G. Maneuvrier, quelques expériences d'électrométrie, relatives à une anomalie qu'ils ont rencontrée dans leurs recherches sur les courants alternatifs.

Ayant été amenés à employer la méthode homostatique (que M. J. Joubert a, le premier, appliquée aux courants alternatifs), ils ont dû préalablement graduer leur électromètre à quadrants, qui était un électromètre apériodique et très sensible de M. Curie. On sait que cette graduation consiste à déterminer, à l'aide d'un courant continu, la constante k qui entre dans l'équation

$$\delta = kV^2, \tag{1}$$

qui définit la méthode homostatique.

L'une des paires de quadrants ainsi que l'un des pôles d'une pile constante étant *mis à la terre,* l'autre paire de quadrants ainsi que l'aiguille sont reliés à l'autre pôle isolé de la pile. Or, suivant que ce dernier est le pôle positif ou le pôle négatif, la déviation δ est notablement différente. On a

$\delta = 109^{mm}$ lorsque le pôle positif est relié à l'aiguille,
$\delta' = 81^{mm}$ lorsque le pôle négatif est relié à l'aiguille.

L'expérience, projetée sous les yeux des auditeurs par M. Pellin, est parfaitement concluante. La différence $(\delta - \delta')$ est donc égale à 28^{mm}, c'est-à-dire à 30 pour 100 environ de la déviation moyenne $\frac{\delta + \delta'}{2}$. Cette dissymétrie est encore plus accusée lorsqu'on diminue la force électromotrice de la pile de charge; elle s'atténue, au contraire, lorsque celle-ci augmente. Dans les expériences de MM. Ledeboer et Maneuvrier, $\delta - \delta'$ a varié depuis 60 jusqu'à 5 pour 100 de la déviation moyenne $\frac{\delta + \delta'}{2}$.

Or, si l'on considère l'équation (1) comme s'appliquant rigoureusement à la méthode homostatique, le fait précédent se présente comme une anomalie inexplicable. On peut, au contraire, l'expliquer aisément et même en calculer d'avance tous les effets, si l'on admet l'influence d'une différence de potentiels parasite, qui préexiste dans l'instrument, entre l'aluminium de l'aiguille et l'acier des quadrants. En effet, introduisons cette différence v dans la formule de l'électromètre, il vient

$$\delta = kV(V + 2v), \tag{2}$$

V étant le potentiel du pôle positif de la pile de charge. Si donc on change

de pôle, V se changera en (— V), et l'équation deviendra

$$(2\ bis) \qquad \delta' = kV(V - 2v).$$

Enfin, si l'on forme la différence $\delta - \delta'$ et la somme $\frac{\delta + \delta'}{2}$ et qu'on en prenne le rapport, il vient

$$(3) \qquad \frac{\delta - \delta'}{\frac{\delta + \delta'}{2}} = 4\,\frac{v}{V}.$$

Ces trois équations expliquent le phénomène précédent avec toutes ses circonstances.

On voit de plus que l'on a

$$(4) \qquad \frac{\delta + \delta'}{2} = kV^2$$

et que, par suite, en faisant deux mesures, alternativement avec les deux pôles, et en prenant la demi-somme des déviations, on obtiendra directement la constante k, comme si le phénomène de dissymétrie n'existait pas.

Enfin, il est facile de démontrer par le calcul que cette dissymétrie n'interviendra pas dans l'application de la méthode homostatique aux courants alternatifs.

M. Ledeboer termine sa Communication en faisant remarquer que ces recherches ont été faites avec la collaboration de M. Maneuvrier, au mois d'août 1887. Or, depuis que les auteurs les ont publiées, ils ont appris :

1° Que ce phénomène était nettement indiqué dans le deuxième volume des *Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme,* de MM. E. Mascart et J. Joubert (*voir* p. 209);

2° Que M. Halwachs, de Leipzig, l'avait également remarqué et en avait fait une application à la mesure des forces électromotrices de contact (voir *Journal de Physique,* numéro du 15 novembre). MM. Ledeboer et Maneuvrier se font un devoir de rendre à qui de droit la priorité de cette remarque; ils ne font de réserves que pour l'étude qu'ils en ont faite au point de vue de la graduation de l'électromètre à quadrants dans la méthode homostatique.

Sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans quelques cristaux clinorhombiques; par M. H. Dufet.

Dans ce Mémoire, j'ai cherché à étudier, à l'aide du microscope polarisant que j'ai eu l'honneur de présenter à la Société [1], la dispersion des axes d'élasticité optique dans le cas le plus simple, celui des cristaux monocliniques, où les diverses bissectrices sont toutes comprises dans le plan de symétrie.

J'ai commencé par graduer en longueurs d'onde la vis micrométrique du spectroscope joint au microscope polarisant. On trouve ainsi le nombre de tours et de fractions de tour nécessaire pour passer de la raie D à une raie quelconque. Ce nombre reste constant, même si la plaque cristalline interposée n'est pas exactement à faces parallèles, ou si la mise au point varie quelque peu.

Dans le cas de la dispersion inclinée, j'ai en général utilisé des plaques normales à chacun des axes pour la raie D. On cherche l'angle dont il faut tourner la plaque à partir de la position relative à la raie D, lorsqu'on tourne un, deux et trois tours la vis micrométrique du spectroscope. On en déduit facilement l'angle extérieur et, à l'aide de l'indice moyen, l'angle intérieur de l'axe optique relatif à une longueur d'onde quelconque avec l'axe jaune.

On peut aussi opérer avec une plaque taillée perpendiculairement à la ligne moyenne, ou simplement normale au plan g^1, à la condition de déterminer l'angle de chacun des axes jaunes avec la normale à la plaque.

Dans le cas de la dispersion horizontale, on opère comme je l'ai indiqué dans une Note récente (*Bulletin de la Société de Minéralogie,* t. X, p. 106, *note*). On commence par mesurer l'angle des axes pour différentes couleurs. On calcule l'angle des axes intérieurs, en partant de l'angle des axes pour la raie D et des indices moyens. Ceci fait, la plaque cristalline est placée de manière que le plan des axes soit vertical, et inclinée jusqu'à ce qu'un des systèmes d'anneaux soit au centre du champ. Les sections principales du polariseur et de l'analyseur étant verticales, on voit

---

[1] *Séances de la Société française de Physique*, p. 139; 1886.

dans le champ une ligne noire qui se déplace avec la couleur. Soit α l'angle dont il faut tourner la plaque cristalline pour amener successivement au centre la trace du plan des axes pour une raie donnée et pour la raie D, l'angle φ des bissectrices correspondantes est donné par la formule

$$\sin\varphi = \frac{\sin\alpha}{n\cos V},$$

n étant l'indice relatif à la couleur considérée, V le demi-angle intérieur des axes pour cette couleur.

Il est préférable, en particulier, dans le cas de la dispersion croisée, d'employer une plaque normale à l'axe relatif à la raie D, et de l'observer successivement avec le plan des axes horizontal et les nicols à 45°, et avec le plan des axes et les sections principales des nicols verticaux. On arrive à la même formule que dans le cas précédents, V étant toujours l'angle d'un axe optique avec la bissectrice située dans le plan de symétrie.

Les cristaux pour lesquels j'ai mesuré la dispersion des axes d'élasticité optique sont les suivants :

Borax	Dispersion	croisée.
Diopside	»	inclinée.
Formiate de cuivre	»	inclinée.
Gypse	»	inclinée.
Hypophosphate monosodique	»	horizontale.
» sesquisodique	»	inclinée.
Hyposulfite de soude	»	croisée.
Orthophosphate disodique à 24HO	»	inclinée.
Sucre de canne	»	inclinée.

La variation de l'angle des bissectrices suit une loi voisine de celle de la variation des indices de réfraction; cet angle est très voisin d'une fonction linéaire de $\frac{1}{\lambda^2}$. Les courbes ayant pour abscisses les différences entre $\frac{1}{\lambda^2}$ et la valeur de $\frac{1}{\lambda^2}$ relative à la raie D, et pour ordonnées les angles d'une bissectrice et de celle relative à la raie D, sont très voisines d'être des droites. Sauf pour le phosphate de soude à 24HO, et surtout pour le gypse, on peut dire que les différences entre les courbes et une droite sont presque de l'ordre des erreurs d'observation.

Je me contente de rapporter ici ce résultat général de mes mesures, renvoyant pour les valeurs numériques au Mémoire que j'ai publié dans le *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, t. X, p. 214.

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1887.

PRÉSIDENCE DE M. WOLF.

La séance est ouverte à 8 heures et demie.

Le procès-verbal de la séance du 2 décembre est lu et adopté.

Une Commission, composée de MM. Caël, Dufet et Violle, est nommée pour vérifier les comptes de l'année 1887.

M. le Secrétaire général annonce l'envoi d'une Note de M. le comte L. Hugo, intitulée : *Sur une relation numérique se rattachant à une figure hémiédrique.*

M. H. Pellat présente à la Société, sous le nom d'*ampère-étalon*, un électrodynamomètre-balance semblable à l'électrodynamomètre absolu, qu'il a présenté il y a un an (3 décembre 1886), sauf que le nouvel appareil est de dimensions plus réduites.

L'ampère-étalon fournit l'intensité du courant i d'après le nombre de grammes p qu'il faut mettre dans le plateau de la balance pour équilibrer le couple électrodynamique, en se servant de la formule

$$i = M\sqrt{p},$$

dans laquelle M représente une constante invariable à un même endroit, indépendante même de la température, et qui d'un lieu à un autre varie comme la racine carrée de l'intensité de la pesanteur. Cette constante M est déterminée une fois pour toutes par comparaison avec l'électrodynamomètre absolu. Une fois cette constante déterminée, l'ampère-étalon peut rendre exactement les mêmes services que ce dernier instrument, tout en étant d'un prix beaucoup moins élevé, d'un transport plus facile et d'une sensibilité encore plus grande. L'ampère-étalon se compose d'une bobine mobile à axe vertical portant quatre à cinq couches d'un fil de cuivre isolé, de $0^{mm},8$ de diamètre. Cette bobine fait corps avec un fléau de balance portant à une de ses extrémités un plateau suspendu à la façon ordinaire; à l'autre, un contrepoids. Ce fléau est porté par un couteau d'agate placé au milieu de la bobine et reposant sur une chape d'agate. Le fléau porte à son extrémité une graduation regardée par un microscope à réticule.

La communication électrique de la partie fixée à la partie mobile se fait par deux fils d'argent de $0^{mm},1$ de diamètre, qui supportent sans danger des courants de $0^{amp},7$. La bobine fixe, à axe horizontal, entoure la bobine mobile. Sa longueur excède peu le diamètre de celle-ci; elle porte vingt couches d'un fil de cuivre isolé de 1^{mm} de diamètre.

Le même courant passe dans les deux bobines. On évite ou élimine l'action du magnétisme terrestre par l'un ou l'autre des procédés indiqués à propos de l'électrodynamomètre absolu.

La sensibilité de la balance permet d'apprécier à l'aide du microscope $\frac{1}{50}$ de milligramme; or un courant de $0^{amp},3$ est équilibré par 1500^{mgr}. On apprécie donc p à $\frac{1}{75000}$ et, comme i est proportionnel à $\sqrt{p}$, l'erreur relative commise peut ne pas dépasser $\frac{1}{150000}$.

On peut mettre à profit la grande précision de cet appareil pour régler à l'aide d'un rhéostat, le courant même qu'on veut mesurer.

Cet appareil permet d'étalonner, par dérivation ou par d'autres méthodes, tous les appareils destinés à la mesure des courants. Associé à une résistance connue, il permet d'étalonner en valeur absolue les forces électromotrices des piles. Associé à une boussole des tangentes, il permet de déterminer immédiatement la composante horizontale du magnétisme terrestre.

Tous les ampère-étalons ayant leur constante déterminée par comparaison avec l'un d'entre eux donnent des indications qui, pour un même courant, ne peuvent différer de $\frac{1}{10000}$; l'intensité du courant se trouve ainsi exprimée en fraction d'un ampère qui ne doit pas différer de l'ampère vrai de plus de $\frac{1}{2000}$, d'après l'exactitude que comporte l'électrodynamomètre absolu.

M. Mascart entretient la Société de l'expérience trop peu connue des trois miroirs de Fresnel.

Cette expérience consiste à faire interférer deux faisceaux lumineux, issus d'une même source, dont l'un s'est réfléchi successivement sur deux miroirs plans et dont l'autre a subi une seule réflexion sur un troisième miroir placé entre les deux premiers, parallèle à leur intersection et très rapproché de cette droite.

Le réglage de l'appareil, plus facile que celui des deux miroirs de Fresnel, se fait de la manière suivante :

La source lumineuse est une fente éclairée, autant que possible, par la lumière solaire. Après avoir obtenu, à une très petite distance l'une de l'autre, les deux images correspondant aux faisceaux qui doivent interférer, on redresse la fente de manière à rendre ces deux images sensiblement parallèles, puis on incline le miroir intermédiaire jusqu'à ce qu'elles soient bien vis-à-vis l'une de l'autre; ce miroir est alors parallèle à l'intersection des deux premiers; quand son plan passe exactement par cette intersection, la droite sur laquelle devrait se former la frange centrale tombe en dehors de la région où les deux faisceaux lumineux interfèrent : c'est une particularité qui se rencontre parfois dans ce genre d'expériences, notamment avec

l'appareil où l'on fait interférer un faisceau direct avec un faisceau réfléchi une seule fois; mais il suffit alors de faire avancer un peu le miroir intermédiaire pour obtenir immédiatement la frange centrale. Même quand la fente est défectueuse, cette disposition donne des franges très nettes, parce que les deux images sont symétriques et interfèrent, pour ainsi dire, point par point, ce qui n'a pas lieu avec les deux miroirs.

Cette expérience fournit une méthode pour soumettre à un contrôle très délicat les formules de Fresnel relatives à la réflexion.

M. Mascart fait remarquer à ce sujet que les formules de Fresnel, qui, au premier abord, sont contradictoires avec celles que l'on déduit de la théorie de Neumann en supposant que les plans de polarisation et de vibration coïncident, sont, au fond, identiques à ces dernières et que, si l'on s'attache à représenter le sens de la vibration réfléchie par rapport à un observateur recevant le rayon réfléchi dans les mêmes conditions qu'il recevrait le rayon incident, les deux théories s'accordent pour conduire aux expressions suivantes de l'intensité de la vibration réfléchie :

Pour la lumière polarisée dans le plan d'incidence : $v = -\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)}$;

Pour la lumière polarisée perpendiculairement au plan d'incidence :

$$v' = +\frac{\tang(i-r)}{\tang(i+r)}.$$

Dans l'expérience des trois miroirs, la vibration ne change pas de signe pour le rayon qui s'est réfléchi deux fois, parce que le changement de signe qui a pu se produire sur l'un des miroirs s'est répété sur l'aútre; le caractère des franges dépend donc uniquement du rayon réfléchi une fois.

Si la lumière est polarisée dans le plan d'incidence, il y a toujours changement de signe et la frange centrale est toujours noire.

Si la lumière est polarisée perpendiculairement au plan d'incidence, il y aura ou il n'y aura pas changement de signe et la frange centrale sera noire ou blanche, suivant que $i+r$ sera plus grand ou plus petit que $\frac{\pi}{2}$.

Si l'on fait varier le plan de polarisation depuis le plan d'incidence jusqu'à l'azimut perpendiculaire, on voit les franges, qui sont d'abord à centre noir, s'affaiblir peu à peu, disparaître pour un certain azimut, alors que les deux systèmes se neutralisent, puis reparaître avec une netteté croissante.

Enfin la lumière naturelle donne toujours une frange centrale noire, parce que la lumière se polarise partiellement dans le plan d'incidence et que le système de franges correspondant l'emporte toujours de beaucoup sur l'autre en intensité.

M. Mascart termine sa communication en répétant devant la Société, avec le concours de M. Pellin, l'expérience dans ces dernières conditions.

M. Robin présente de petits flotteurs en verre soufflé, pouvant indiquer

la densité des couches horizontales d'un liquide hétérogène, et donne des détails sur leur construction.

M. Wolf présente, au nom de M. Lutz, un nouvel équatorial pouvant servir à l'enseignement de la Cosmographie dans les établissements d'instruction secondaire, et comprenant :

1° Un cercle pour l'angle horaire, donnant la minute de temps; 2° un cercle de distance polaire; 3° un cadran de latitude.

La lunette, munie d'un chercheur, a une ouverture de $0^m,062$ et une longueur focale de $0^m,85$. Elle est équilibrée par des contrepoids et montée sur un pied à vis calantes qui pourrait supporter un réfracteur de 3 ou 4 pouces. L'instrument est enfin pourvu d'un oculaire terrestre et d'un oculaire astronomique.

Sur l'expérience des trois miroirs de Fresnel;

Par M. Mascart.

1. On connaît l'expérience célèbre des *trois miroirs* par laquelle Fresnel (1) a démontré directement le changement de phase qui se produit dans la réflexion de la lumière.

Avant d'examiner cette disposition un peu complexe, nous ferons remarquer d'abord qu'il est possible avec un seul miroir de produire des interférences entre le faisceau direct des rayons émanés d'une source et le faisceau réfléchi.

La source S (*fig.* 1) étant à une distance d, très petite, du plan d'un miroir M, l'image S′ est symétrique et à la distance $SS' = 2d$ de la source. Le faisceau réfléchi sur le miroir forme un cône A′S′B′ limité par le contour de la surface et se trouve superposé au faisceau ASB qui provient directement de la source. Il peut donc y avoir interférence dans la partie commune; mais la frange centrale doit se trouver dans le plan de symétrie OC de deux sources S et S′, qui n'est autre que le plan de la surface et qui est situé en dehors de la partie commune des faisceaux.

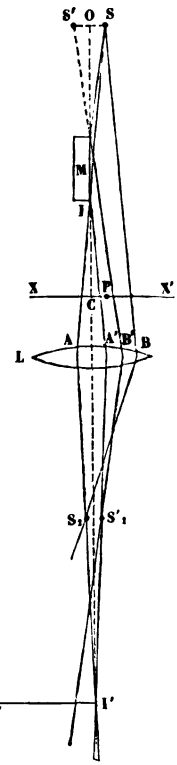
On n'aperçoit en effet les franges d'interférence que dans le voisinage de l'arête I du miroir où le faisceau réfléchi est le plus

(1) Fresnel, *Œuvres*, t. I, p. 703.

rapproché du plan de symétrie; la moitié seulement du système est visible et la frange centrale est noyée dans les bandes de diffraction, de sorte qu'il est difficile d'en reconnaître le caractère.

Pour amener le milieu des franges en un point P dans la région commune sur le plan XX′, il suffit d'établir un retard sur l'un des

Fig. 1.



faisceaux en interposant une lame réfringente mince sur le trajet de rayon direct. On rendra cette opération plus facile en recevant la lumière sur une lentille convergente L, de longueur focale convenable, qui donne deux images réelles S_1 et S'_1 des sources S et S′.

Les faisceaux réfractés se touchent au foyer conjugué I′ de l'arête I, et la frange centrale du système situé dans le plan I′P′ se trouve en ce point mêlée à des bandes de diffraction. Une lame mince de mica capable de produire un déplacement de trois ou

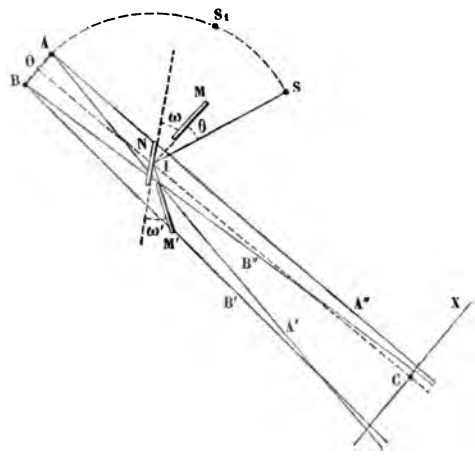
quatre franges étant interposée sur l'image S_1, le système sera reporté vers la gauche et l'on pourra constater facilement que la frange centrale est *noire*. La vibration réfléchie a donc changé de signe sur le miroir.

Toutefois on ne peut ainsi opérer que sous l'incidence rasante, et l'intervention d'une lame réfringente produit un retard inégal de systèmes relatifs aux différentes couleurs qui peut changer l'apparence de la frange centrale.

2. La disposition imaginée par Fresnel permet de choisir à volonté les angles d'incidence et d'obtenir un système complet de franges dans la région commune aux deux faisceaux.

Supposons que les plans des trois miroirs M, M′ et N (*fig.* 2)

Fig. 2.



passent par une même droite I et prenons pour plan de figure le plan normal à l'arête commune qui passe par la source S; soient ω et ω' les angles des miroirs extrêmes M et M′ avec le miroir intermédiaire N, θ l'angle que fait avec le premier miroir M le rayon SI qui tombe sur l'arête commune.

D'après les propriétés de la réflexion, le rayon réfléchi sur le miroir intermédiaire N a tourné de l'angle $2(\omega + \theta)$ et son image virtuelle A, étant symétrique de la source S par rapport au miroir N, est sur une circonférence de rayon $SI = a$ ayant pour centre le

point I. Si les miroirs M et M′ sont prolongés jusqu'à l'arête, le rayon réfléchi sur le premier a tourné de l'angle 2θ et fait avec le miroir M′ l'angle $(\omega' + \omega - \theta)$; la rotation qu'il éprouve à la seconde réflexion étant $2(\omega' + \omega - \theta)$, sa rotation totale est $2(\omega' + \omega)$, et l'image virtuelle B, qui est symétrique par rapport au miroir M′ de l'image S_1 fournie par le miroir M, est située sur la même circonférence.

L'angle des images A et B vues du point I est

$$2(\omega' + \omega) - 2(\omega + \theta) = 2(\omega' - \theta).$$

Pour que les images A et B soient très voisines, il faut donc que les angles ω' et θ soient très peu différents. En posant $\omega' - \theta = \beta$, on a

$$AB = 2a \sin \beta;$$

l'appareil se comporte comme deux miroirs dont l'angle serait égal à β.

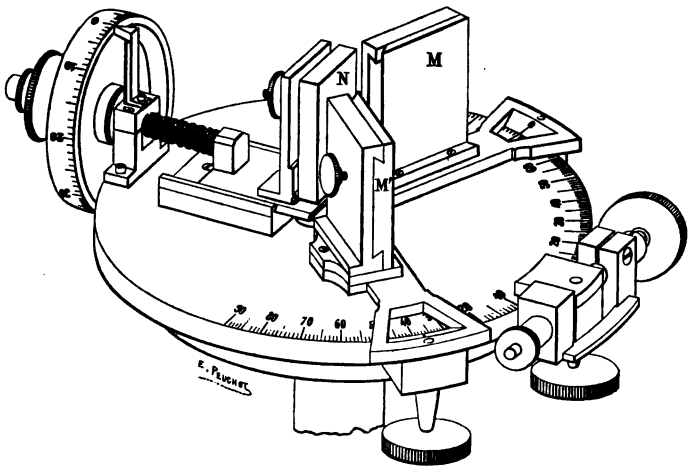
Remarquons cependant que, le miroir intermédiaire N ne pouvant être caché par les miroirs extrêmes, les faisceaux interférents A′AA″ et B′BB″ ne sont pas symétriques par rapport au plan OIC perpendiculaire au milieu O de la distance des deux images, qui passe par l'arête commune. Les franges qui se produisent dans un plan CX sont symétriques par rapport au point C; la frange centrale se trouvera donc sur le côté et même en dehors de la région commune. Pour la ramener au milieu de cette région, il faut augmenter le chemin des rayons doublement réfléchis, ou diminuer celui des rayons qui correspondent au miroir intermédiaire, c'est-à-dire *avancer* ce miroir N à l'aide d'une vis micrométrique qui le déplace parallèlement à lui-même.

Fresnel faisait $\omega' = \omega$; dans ce cas, le miroir M doit être à peu près bissecteur de l'angle des rayons incidents avec le miroir N, les rayons réfléchis sur le premier miroir M sont sensiblement parallèles au second et font le même angle θ avec le miroir M′. Il a réalisé l'expérience sous diverses inclinaisons, en donnant successivement à l'angle ω les valeurs $7^\circ 30'$, 15°, 20°, 25°, $27^\circ 30'$, 30°, 35°, 40° (le maximum de cet angle est évidemment de 45° puisqu'alors les rayons seraient normaux au miroir intermédiaire) et il a toujours vu le milieu du groupe de franges occupé par une bande noire.

3. Fresnel disposait ses miroirs d'après une épure en laissant l'un d'eux mobile par une vis micrométrique; il a remarqué aussi que l'on doit, à mesure que l'angle ω augmente, rapprocher les miroirs extrêmes de l'arête I, afin que le faisceau général utilisé n'ait pas une ouverture angulaire trop grande, auquel cas les vibrations aux différents points d'une même onde ne seraient plus absolument concordantes.

On peut répéter l'expérience très facilement à l'aide de l'appareil suivant (*fig.* 3) construit par M. Pellin. Les miroirs extrêmes

Fig. 3.



M et M′ sont fixés à des bras mobiles qui tournent autour d'un axe I sur une plate-forme divisée; ils peuvent glisser dans des coulisses qui permettent de les rapprocher de l'axe. Le miroir intermédiaire N est monté sur la plate-forme et commandé par une vis micrométrique qui le déplace parallèlement à lui-même; une vis de rappel permet de le faire basculer autour d'un axe horizontal.

On met d'abord les miroirs M et M′ dans le plan du miroir N, en faisant basculer le dernier de manière qu'il soit parallèle à l'intersection de deux autres; on tourne ensuite les deux premiers d'angles arbitraires ω et ω′, et l'on vise une fente S. On oriente la fente et l'on achève le réglage de façon que les images A et B soient exactement parallèles et à la même hauteur. Pour placer ces images à la distance convenable, on fait tourner l'ensemble des trois

miroirs par la plate-forme elle-même; l'image B de double réflexion reste immobile pendant cette opération, puisque la rotation $2(\omega' + \omega)$ du rayon ne dépend que de l'angle des miroirs extrêmes, et l'autre se déplace. On fait en sorte que l'œil placé dans le plan CX d'observation voie en même temps les deux images sous un angle d'une dizaine de minutes, ce qui correspond à peu près à 3^{mm} à la distance de 1^{m}, et les franges auront une largeur de $0^{mm},015$. On vise alors à la loupe le champ éclairé par le faisceau commun et, si les franges n'existent pas, il suffira de faire avancer lentement le miroir N par la vis micrométrique pour les voir apparaître.

L'emploi d'un miroir unique ou de trois miroirs présente même un avantage particulier, c'est que les images sont *symétriques*, de sorte que la frange centrale a exactement la même position pour tous les groupes de points correspondants deux à deux. On peut ainsi obtenir un phénomène très pur avec une fente plus large que dans le cas des deux miroirs.

4. Le but de Fresnel était de vérifier certaines vues théoriques, qu'il ne tarda pas à abandonner lui-même, sur le mécanisme de la réflexion; mais son expérience reste la démonstration la plus directe du changement de signe que la réflexion imprime dans certains cas à la vibration de la lumière.

Comme il s'agit ici de savoir si la vibration ou, plus exactement, sa composante parallèle à une direction quelconque, éprouve un changement de signe, il est clair que les rayons doublement réfléchis n'ont pas été modifiés; car les deux réflexions se faisant sous le même angle, si la vibration change de signe dans la première, elle change également dans la seconde et reprend son état primitif. L'existence de la frange centrale noire montre donc que, pour le rayon réfléchi sur le miroir intermédiaire, la vibration a changé de signe par la réflexion.

L'expérience de Fresnel est parfaitement correcte quand on opère avec de la lumière naturelle; mais le phénomène observé pour certaines incidences correspond en réalité à la superposition de deux systèmes de franges d'intensités inégales et de caractères différents : il est donc utile de la compléter en faisant intervenir l'état de polarisation de la lumière primitive.

5. Quoique la théorie de la réflexion établie par Fresnel pour les corps isotropes repose sur certaines hypothèses plus ou moins contestables, les formules qui en résultent paraissent conformes à toutes les observations, si l'on met à part les corps très réfringents, comme le diamant, et quelques phénomènes secondaires qui se manifestent au voisinage de l'angle de polarisation.

Les formules de Fresnel ne sont d'ailleurs vérifiées par expérience que dans l'hypothèse où les vibrations de la lumière polarisée sont perpendiculaires au plan de polarisation.

En appelant i l'angle d'incidence de la lumière qui tombe sur la surface de séparation de deux milieux isotropes, r l'angle de réfraction correspondant, et a ou b l'amplitude de la vibration primitive suivant qu'elle est normale au plan d'incidence ou située dans ce plan, l'amplitude de la vibration réfléchie est représentée par

$$a_1 = -a\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)} \qquad \text{ou} \qquad b_1 = -b\frac{\operatorname{tang}(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)}.$$

La différence de phase est nulle quand les vibrations incidente et réfléchie sont de même signe; le changement de signe de la vibration réfléchie équivaut à une perte de phase égale à π ou à un retard d'une demi-longueur d'onde.

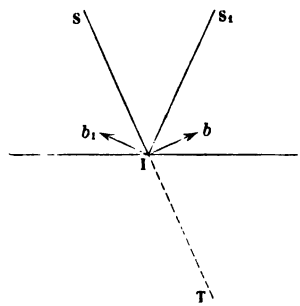
Quand le milieu inférieur est le plus réfringent ($i > r$), il y a toujours changement de signe pour les vibrations normales au plan d'incidence. Pour les vibrations situées dans ce plan, les projections des amplitudes b et b_1 (*fig.* 4) sur la surface de séparation sont encore des signes contraires tant que $i + r < \frac{\pi}{2}$; mais ces vibrations se superposent si l'on rabat le rayon réfléchi IS_1 sur le prolongement IT du rayon incident SI; il n'y a donc pas de changement de signe pour l'observateur qui reçoit alternativement le rayon incident et le rayon réfléchi. Le changement de signe apparaît lorsque $i + r > \frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire quand on a dépassé l'angle de polarisation.

Dans l'expérience de trois miroirs, la vibration ne change pas de signe pour le rayon qui s'est réfléchi deux fois sous le même angle et le caractère des franges ne dépend que du rayon réfléchi sur le miroir moyen.

Lorsque la vibration est normale au plan d'incidence, il y a toujours changement de signe et la frange centrale doit être noire : c'est ce que l'on constate en effet avec une lumière polarisée dans le plan d'incidence.

Lorsque la vibration est dans le plan d'incidence, la frange centrale doit être blanche tant que la réflexion sur le miroir moyen satisfait à la condition $i + r < \frac{\pi}{2}$. L'observation est moins facile

Fig. 4.



parce que l'angle 2ω devant être compris entre 35° (qui est à peu près l'angle de polarisation pour le verre) et 90°, ou l'angle ω entre 17°,5 et 45°, l'un au moins des deux faisceaux se réfléchit dans une direction voisine de l'angle de polarisation ; sauf pour une valeur particulière de l'angle ω, les faisceaux interférents ont des intensités très inégales et les franges sont noyées dans un excès de lumière blanche qui permet difficilement de distinguer le caractère de la frange centrale.

On peut éluder cette difficulté en polarisant la lumière incidente dans un azimut intermédiaire. Quand on met un polariseur en avant de la fente, il est aisé de reconnaître que la frange centrale est noire tant que le plan de polarisation est voisin du plan d'incidence. Si l'on tourne alors le polariseur d'une manière continue, on voit les franges s'affaiblir peu à peu, s'évanouir pour un certain azimut, puis reparaître avec une netteté croissante jusqu'à ce que le plan de polarisation soit perpendiculaire au plan d'incidence. Il y a donc, en réalité, pour tout azimut intermédiaire de polariseur, superposition de deux systèmes de franges polarisées dans des plans rectangulaires, l'un à centre noir, l'autre à centre blanc,

qui proviennent des deux composantes principales de la lumière incidente; les franges s'évanouissent quand les deux systèmes sont exactement complémentaires.

On obtiendrait exactement les mêmes résultats avec une source de lumière naturelle en observant les franges à l'aide d'un analyseur.

Si l'on appelle θ l'angle du plan de polarisation avec le plan d'incidence, i et i' les angles d'incidence sur le premier et le second miroir, r et r' les angles de réfraction correspondants, et qu'on prenne pour unité l'amplitude de la vibration primitive, on a

$$a = \cos\theta, \qquad b = \sin\theta,$$

$$i = \frac{\pi}{2} - \omega, \qquad i' = \frac{\pi}{2} - 2\omega.$$

Les amplitudes a_1 et a_2 ou b_1 et b_2 des faisceaux réfléchis une fois et deux fois, suivant qu'ils sont polarisés dans le plan d'incidence ou dans le plan perpendiculaire, sont

$$a_1 = -\cos\theta\,\frac{\sin(i'-r')}{\sin(i'+r')}, \qquad a_2 = -\cos\theta\,\frac{\sin^2(i-r)}{\sin^2(i+r)},$$

$$b_1 = -\sin\theta\,\frac{\tang(i'-r')}{\tang(i'+r')}, \qquad b_2 = -\sin\theta\,\frac{\tang(i-r)}{\tang(i+r)}.$$

Si l'on a $i'+r' < \frac{\pi}{2}$ et $b_2 < b_1$, les franges s'évanouissent quand les amplitudes a_2 et b_2 sont égales, c'est-à-dire pour la condition

$$\tang\theta = \frac{\cos^2(i-r)}{\cos^2(i+r)}.$$

En faisant $\omega = 21°$, j'ai trouvé avec des miroirs de verre noir $\theta = 83°,5$. Si l'on prend 1,52 pour l'indice de réfraction du verre, la formule donne $83°25'$; la concordance est donc aussi complète qu'on peut l'espérer d'une mesure approchée.

La lumière naturelle donne toujours une frange centrale noire, comme l'avait observé Fresnel. Elle équivaut, en effet, à deux faisceaux d'égale intensité polarisés dans les azimuts principaux ou à de la lumière polarisée dans l'azimut de 45°; les systèmes de franges superposées sont alors d'intensités très inégales, et le système polarisé dans le plan d'incidence donne son signe au phénomène résultant.

Les franges s'obtiennent aussi facilement quand le miroir moyen n'est pas perpendiculaire au plan bissecteur des miroirs extrêmes; les deux effets produits sur le rayon doublement réfléchi peuvent être alors de natures différentes, ce qui permet de varier beaucoup les conditions de l'expérience.

On a, en général, en appelant i_1 l'angle d'incidence sur le troisième miroir,

$$i = \frac{\pi}{2} - \omega',$$

$$i' = \frac{\pi}{2} - (\omega + \omega'),$$

$$i_1 = \frac{\pi}{2} - \omega.$$

Pour la condition $\omega < 35^\circ < \omega'$, la vibration du rayon doublement réfléchi a changé de signe dans une des réflexions et celle du rayon réfléchi sur le miroir moyen n'a pas changé. La frange centrale est encore noire avec la lumière polarisée dans un plan normal au plan d'incidence, mais avec inversion du rôle des deux faisceaux.

6. Les formules de Fresnel relatives à la réflexion ont été vérifiées surtout par la rotation du plan de polarisation et par la mesure des intensités; l'expérience de trois miroirs fournit ainsi une troisième méthode pour les soumettre à un contrôle très délicat. On voit aussi comment il est possible d'utiliser l'expérience pour déterminer la différence de phase qui se produit dans la réflexion métallique par la mesure du déplacement des franges quand on opère successivement avec de la lumière polarisée dans les deux azimuts principaux.

Mac Cullagh et Neumann sont arrivés simultanément à ce résultat remarquable que le problème de la réflexion sur les milieux isotropes peut être résolu sans autre hypothèse que la concordance complète des vibrations dans les deux milieux sur la surface de séparation. Dans ce cas, l'amplitude de la vibration réfléchie, suivant que l'amplitude primitive a ou b est normale au plan d'incidence ou située dans ce plan, est

$$a_1 = a\frac{\operatorname{tang}(i-r)}{\operatorname{tang}(i+r)} \quad \text{ou} \quad b_1 = b\frac{\sin(i-r)}{\sin(i+r)}.$$

Au point de vue des intensités, on voit que la vibration située dans le plan d'incidence suit les lois données par l'expérience pour la lumière polarisée dans le même plan; il en résulterait donc que la vibration est dans le plan de polarisation.

Au point de vue de la vibration elle-même, ces formules nouvelles semblent indiquer qu'il n'y a pas de changement de signe pour le rayon voisin de la normale, mais cette contradiction avec les formules de Fresnel n'est qu'apparente. M. Cornu (¹) a montré déjà qu'on peut passer de l'un des systèmes de formules à l'autre par un simple changement de variables. Leur identité devient manifeste quand on considère la direction apparente de la vibration pour l'observateur.

En effet, pour la lumière polarisée dans le plan d'incidence, les formules de Mac Cullagh et de Neumann indiquent que les projections sur la surface des vibrations b et b_1 sont de même signe si le milieu inférieur est plus réfringent ($i > r$); la *fig.* 4 montre qu'elles auront alors changé de signe pour l'observateur qui reçoit alternativement le rayon incident et le rayon réfléchi.

Pour la lumière polarisée dans un plan perpendiculaire au plan d'incidence, la direction apparente des vibrations b et b_1 dans la formule de Fresnel est restée la même ou a changé de sens suivant que l'on a $i + r \lessgtr \frac{\pi}{2}$; il en est de même pour les vibrations a et a_1 dans les formules de Mac Cullagh et de Neumann.

Les résultats apparents sont donc identiques dans les deux théories et il ne semble pas qu'il soit possible d'établir entre elles aucune différence accessible à l'expérience.

Flotteurs pour indiquer la densité des couches des liquides hétérogènes; par M. Paul Robin.

Il y a quelques années, dans le but de montrer la lenteur des

---

(¹) Cornu, *Annales de Chimie et de Physique,* [4], t. XI, p. 303; 1867.

phénomènes de diffusion dans les liquides et peut-être d'en mesurer quelques-uns, j'ai entrepris une modeste expérience dont j'ai pensé que quelques détails pourraient intéresser la Société. Dans l'ensemble, mon appareil, qui figurait à la dernière exposition annuelle, est un vase vertical assez long, contenant un liquide hétérogène dans lequel la densité des couches horizontales est donnée par des flotteurs de densités bien mesurées d'avance. Le mouvement de ces flotteurs indique celui de la diffusion.

Je dois dire d'abord que j'ai renoncé à suivre sérieusement ces expériences, pour deux raisons. D'abord, je ne dispose pas de chambre à température constante, condition qui n'est peut-être pas indispensable, mais qui est au moins désirable; ensuite et surtout, je crains que le temps ne me manque : j'estime, en effet, qu'il faudrait plusieurs générations pour que l'une d'elles fût terminée. S'il paraissait utile de vérifier par le moyen présenté des résultats obtenus par des expériences de moins longue durée, les appareils ne pourraient être établis pour l'instruction de la postérité que dans les caves profondes de quelqu'un des palais consacrés aux recherches de haute Science.

Je ne parlerai donc que de la construction de mes flotteurs. Ce sont de petites ampoules en verre soufflé dans lesquelles j'ai d'abord introduit et fixé un signe, une lettre gommée qui me permettra de les reconnaître. De chacune j'ai mesuré grossièrement le diamètre, calculé le volume, puis j'y ai introduit des fragments de fil métallique, afin de lui donner *approximativement* la densité désirée, et j'ai fermé à la lampe.

Pour déterminer *exactement* les densités, j'ai pu opérer assez vite en modifiant le procédé de la balance hydrostatique. Au plateau de celle-ci, je suspends un mince fil métallique terminé par un anneau horizontal au-dessus ou au-dessous duquel mes flotteurs peuvent être maintenus dans l'eau. Le vase contenant l'eau sous le plateau de la balance est entouré de glace fondante. Je n'emploie pas la double pesée inutile, mes deux poids étant multipliés par le même coefficient, ce qui ne changera pas leur rapport. Chaque flotteur est directement pesé hors de l'eau et dans l'eau. Le petit fil métallique ne cause aucune erreur pratique ou théorique, puisqu'en tout cas il entre dans l'eau de la même quan-

tité, mais encore il raccourcit l'opération en diminuant l'amplitude et la durée des oscillations de la balance.

J'espère que ces petits flotteurs, que l'on peut construire excellents, très vite et sans aucune difficulté, pourront être utilisés comme indicateurs dans diverses expériences.

OUVRAGES REÇUS PAR LA SOCIÉTÉ

PENDANT L'ANNÉE 1887.

Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. CIV et CV, 1887, in-4°.

Annales de Chimie et de Physique, 6e série, t. X, XI et XII, 1887, in-8°.

Annales scientifiques de l'École Normale supérieure, 3e série, t. IV, année 1887, in-4°.

Annales télégraphiques, 3e série, t. XIV, janvier à août 1887, in-8°.

Bulletin de la Société philomathique de Paris, 7e série, t. XI, 1886-1887, in-8°.

Bulletin de la Société des Ingénieurs civils, année 1887.

Mémoires et comptes rendus des travaux de la Société des Ingénieurs civils, 4e série, 40e année, janvier à décembre 1887.

L'Électricien, t. XI, année 1887, 1 vol. in-8°.

Bulletin international des téléphones, année 1887, in-4°.

La Chronique industrielle; par M. *Casalonga*, année 1887, in-4°.

La Revue industrielle, année 1887, in-4°.

Moniteur industriel, vol. XIV, année 1887, in-4°.

Revue internationale de l'Électricité et de ses applications, t. IV, 3e année, 1887, in-4°.

Bulletin de la Société française de minéralogie, t. X, année 1887, in-8°.

Ministère de l'Instruction publique. — Revue des Travaux scientifiques, t. VII, nos 1 à 8, 1886, in-8°.

Journal de Physique, Chimie et Histoire naturelle élémentaires, publié par M. *A. Buguet*, 1re année, 1887, in-8°.

The Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. Vol. V, Part 1 à 6 (1886-1887), in-8°.

Bulletin de la Société nationale d'encouragement pour l'Industrie nationale, t. II, 4e série, 1887, in-4°.

Société nationale d'encouragement. Procès-verbaux des séances, année 1887.

Memorias de la Sociedad Cientifica « Antonio Alzate », t. I, nos 2 à 5, 1887, in-8°.

Anuario de la Oficina central meteorolojica de Chile, t. XVIII, août à octobre 1886, in-8°.

Proceedings of the Royal Society, vol. XLII, nos 256 à 257, et XLIII, nos 258 à 263.

Philosophical Magazine, fifth series, vol. XXIII and XXIV, 1887.

Annalen der Physik und Chemie, neue Folge, Band XXXI, XXXII, XXXIII, 1887.

Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie, Band XI, 1887.

Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles, 3e série, vol. XXII, et vol. XXIII, n° 96, in-8°.

Journal de la Société physico-chimique de Saint-Pétersbourg, t. XIX, 1887, nos 1 à 7.

Journal of the Society of Telegraph Engineers and of Electricians, vol. XVI, année 1887.

Elektrotechnische Zeitschrift; herausgegeben vom elektrotechnischen Verein. Heft IX, 1887.

The American Journal of Science, 3e série, vol. XXXII et XXXIV, 1887.

The Physical Society of London (Proceedings), vol. VIII et vol. IX, Part I, in-8°.

Annales de l'École polytechnique de Delft, t. III, 1887.

Die Fortschritte der Physik im Jahre 1881, XXXVII Jahrgang et XXXVIII, 1882.

Pontificia Universita Gregoriana. — Bullettino meteorologico dell'Osservatorio del Collegio Romano, vol. XXVI, nos 1 à 7, 1887.

Moniteur officiel du grand concours international des Sciences et de l'Industrie (Bruxelles, in-4°); nos 1 à 23, 1887.

Bulletin de la Société internationale des Électriciens, 1884 à 1887, in-4°.

The scientific Proceedings of the royal Dublin Society, vol. V, 1886, Part 3 et 4, vol. VI, 1887, Part 5 et 6.

Cronica cientifica, revista internacional de Ciencias, t. X, 1887; nos 218 à 242.

Bulletin de la Société belge d'Électriciens; t. IV, janvier à novembre 1887.

Institutui meteorologic Romanei : Buletinul ministeruli agriculturei, industriei comerciului Saint Domeniilor, anul I, 1885; nos 8 à 12.

The Electrician; vol. XIX, 1887, et vol. XX, nos 495 à 501.

Annales de l'Institut météorologique de Roumanie; par M. *Stefan C. Hepitès*, 1885, t. I.

Traité d'Électricité et de Magnétisme de James Clerk Maxwell, traduit par M. *G. Seligmann-Lui*, avec notes et éclaircissements par MM. *Cornu*, *Potier* et *Sarrau*, t. I, 3e fascicule.

Recherches expérimentales sur la dureté des corps et spécialement sur celle des métaux et des alliages; par M. *F. Hugueny* (Thèse, 1864), br. in-4°.

Recherches expérimentales sur la dureté des corps et spécialement sur celles des métaux; par M. *F. Hugueny*, br. in-8°.

Le coup de foudre de l'île du Rhin, près Strasbourg (13 juillet 1869); par M. *F. Hugueny*, br. in-4°.

Sur la condition de stabilité du mouvement d'un système oscillant soumis à une liaison synchronique pendulaire; par M. *A. Cornu* (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1887).

Nouveau Dictionnaire de Chimie, illustré de figures intercalées dans le texte, comprenant les applications aux Sciences, aux Arts, à l'Agriculture et à l'Industrie; par M. *Émile Bouant* (1er fascicule, A chaleur), in-8°.

Traité et Aide-Mémoire des déviations du compas; par M. *A. Madamet*, 1 vol. in-8°.

Résistance des matériaux; par M. *A. Madamet*, br. in-8°.

Note sur un appareil destiné à enregistrer à bord d'un navire la loi d'un mouvement quelconque; par M. *A. Madamet*, br. in-8°.

Rapport fait, au nom du Comité des Arts mécaniques de la Société d'Encouragement, sur la transmission funiculaire de M. Raffard; par M. *Ed. Collignon*, br. in-4°.

Rapport, fait au nom du Comité des Arts mécaniques de la Société d'Encouragement, sur le manchon élastique d'accouplement des arbres de transmission inventé par M. Raffard; par M. *Pihet*, br. in-4°.

Une nouvelle Force; par M. *J. Thore*, br. in-8°.

Des constantes d'élasticité dans les milieux anisitropes; par M. *B. Élie,* br. in-8° (Extrait du *Journal de Physique,* année 1886).

Sur l'instabilité de l'équilibre de la couche superficielle d'un liquide (Ire et IIe Partie); par M. *G. van der Mensbrugghe,* br. in-8°.

Études sur la balance; par M. le Dr *M. Thiesen*, br. in-4°.

Versuche über den Luftwiderstand; von Dr *M. Thiesen,* br. in-8°.

Les machines du service pneumatique au nouvel Hôtel des Postes, à Paris; par M. *Wunschendorff* (Extrait des *Annales Télégraphiques*), br. in-8°.

Relations des opérations effectuées en 1880-1881 pour la réparation du câble Marseille-Alger de 1871; par M. *Wunschendorff* (Extrait des *Annales télégraphiques*), br. in-8°.

Sur quelques effets curieux des forces moléculaires au contact d'un solide et d'un liquide; par M. *G. van der Mensbrugghe,* br. in-8°.

Quelques expériences sur la propagation du courant électrique dans l'air; par M. le Dr *J. Bergmann,* br. in-8°.

Les téléphones usuels; par M. *Ch. Mourlon,* 1 vol. in-8°.

Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques; par M. *Adrien Palaz* (Thèse), br. in-4°.

Zur Frage nach dem Ursprunge der Wolkenelektricität; von *Julius Elster* und *Hans Geitel,* br. in-8°.

Étude de la distribution du potentiel dans des conducteurs homogènes de formes déterminées traversées par un courant électrique dont le régime est permanent; par M. *A. Chervet,* br. in-8°.

Quelques mots sur la transparence du platine et des miroirs de fer, nickel, cobalt, obtenus par électrolyse; par M. *Ed. van Aubel.*

Action d'un aimant sur l'écoulement du mercure; par M. *Henri Dufour,* br. in-8°.

Note sur quelques effets de la foudre; par M. *Henri Dufour,* br. in-8°.

Sur la réflexion de l'arc-en-ciel à la surface de l'eau tranquille; par M. *Henri Dufour,* br. in-8°.

Sur les dégâts causés par un coup de foudre d'une intensité exceptionnelle; par M. *D. Colladon,* br. in-4°.

Sur les tourbillons ascendants dans l'air et dans les liquides. — Réponse aux observations de M. Faye; par M. *D. Colladon,* br. in-4°.

Sur les origines du flux électrique des nuages orageux; par M. *D. Colladon,* br. in-4°.

Ueber das Schallleitungsvermögen der Körper; von *N. Hesehus,* br. in-8°.

Notes sur la construction des paratonnerres; par MM. *Buchin, Tricoche* et Cie, br. in-8°.

Sur l'emploi de l'électricité pour la transmission du travail à distance; par M. *J. Boulanger,* br. in-8°.

La sténo-télégraphie, système nouveau de télégraphie breveté par M. *G.-A. Cassagnes;* par M. *L.-H. Despeissis,* br. in-4°.

La sténo-télégraphie; par M. *G.-A. Cassagnes,* br. in-4°.

L'électricité considérée comme un transmetteur d'énergie (conférences faites, les 24 avril, 8 et 22 mai 1887, à la Société industrielle du Nord); par M. *Aimé Witz,* br. in-8°.

Accumulateurs électriques; par M. *Aimé Witz,* br. in-4°. (Extrait du *Bulletin de la Société industrielle du Nord.*)

La traction électrique au moyen des accumulateurs; par M. *Bandsept,* br. in-8°.

Azione della luce sulla conductibilita calorifica del selenio cristallino. — Ricerche sperimentali; per *Bellati* et *S. Lussana,* br. in-8°.

Die Entwickelung der Lichtemission glühender fester Körper, von *H.-F. Weber,* br. in-8°.

L'Hématoscopie, méthode nouvelle d'analyse du sang basée sur l'emploi du spectroscope; par M. le Dr *A. Hénocque,* br. in-4°.

Notice sur l'hématoscope d'Hénocque; indications techniques de ses applications, br. in-8°.

Spectre du pôle négatif de l'azote. Loi générale de répartition des raies dans les spectres de bandes; par M. *H. Deslandres,* br. in-4°. (Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences.*)

Photographische Fixirung der durch Projectile in der Luft eingeleiteten Vorgänge, von *Mach* et *Salcher,* br. in-8°.

Sur la forme cristalline des pyrophosphates et hypophosphates de soude; par M. *H. Dufet,* br. in-8°. (Extrait du *Bulletin de la Société minéralogique de France.*)

Étude cristallographique et optique des phosphates, arséniates et hypophosphates de soude; par M. *H. Dufet,* br. in-8°. (Extrait du *Bulletin de la Société minéralogique de France.*)

Sur l'orthophosphate et l'arséniate monosodiques; par MM. *A. Joly* et *Dufet*, br. in-8°. (Extrait du *Bulletin de la Société minéralogique de France.*)

Les groupements cristallins; par M. *E. Mallard*, br. in-8°.

Recherches calorimétriques sur les chaleurs spécifiques et les changements d'état aux températures élevées; par M. *Pionchon* (Thèse), br. in 4°.

Cours de Thermodynamique, professé pendant le premier semestre 1885-1886 à la Faculté des Sciences de Paris; par M. *G. Lippmann*, br. in-4°.

Ueber Barometervergleichungen neue Form des Queck-Silbernormalthermometers; von *J. Pernet*, br. in-8°.

Bemerkungen über barometrische Untersuchungen, von *J. Pernet*, br. in-8°.

Sur la vitesse de réaction du zinc plombé avec quelques acides, dans divers états de concentration et de température; par MM. *W. Sping* et *E. van Aubel*, br. in-8°.

Zur Frage der Beleuchtung mittels Naphtagases; von *P. Lamansky*, br. in-8°.

Rapport sur les Travaux de la Société belge d'Électriciens, pendant l'exercice 1886-1887; par M. *Ch. Mourlon*, br. in-4°.

Das Klima von Fiume. — Abbazia nach meteorologischen Beobachtungen, von *P. Salcher*, br. in-8°.

Eine Aenderung am Weber'schen Magnetometer, von *P. Salcher*, br. in-8°.

The development of the mercurial air-pump; by M. *S.-P. Thompson*, in-4°.

Notes sur l'histoire de la Photographie astronomique; par M. *G. Rayet*. br. in-8°.

Ueber Vergleichungen von Normalmeterstäben, von *J. Pernet*, br. in-8°.

Bericht über Arbeiten des Hern. Benoît; von *J. Pernet*, br. in-8°.

Ueber die Arago'sche Method zur Bestimmung der Spannung der Luft im sog. Vacuum der Barometer, und den Einfluss der Capillarität auf die Messung absoluter Drucke und Temperaturen von *S. Pernet*, br. in-8°.

Statistique générale des personnes qui ont été traitées à l'Institut Pasteur après avoir été mordues par des animaux enragés ou suspects; par M. *Vulpian*, br. in-4°.

Société d'Encouragement pour l'industrie nationale : Annuaire pour l'année 1887.

Commission géologique et d'Histoire naturelle du Canada; Rapport annuel (nouvelle série), t. I, 1885, in-8°.

Commission géologique et d'Histoire naturelle du Canada : Mappes, etc., accompagnant le Rapport annuel pour 1885, in-8°.

Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts : Comité des travaux historiques et scientifiques. — Bibliographie des Sociétés savantes de la France; par M. *Eugène Lefèvre-Pontalis*, br. in-8°.

Les collisions en mer. — Moyen de les éviter, 1868-1870-1877; par M. *Léon Somzée*, br. in-8°.

Ueber die Electricitätsentwickelung bei der Tröpfchenreibung; von *Julius Elster* und *Hans Geitel*, br. in-8°.

Versuche über die Nachbilder von Reizveränderungen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber Analoga der persönlichen Differenz zwischen beiden Augen und den Netzhautstellen desselben Auges; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Entstehungsweise der Kundt'schen Staubfiguren; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Schallgeschwindigkeit des Wassers in Röhren; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Schwingungen des Wassers in Röhren ; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber einige neue Staubfiguren; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber eine neue Art von Variationstönen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die Leitung des Schalles in Gasen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber die akustische Abstossung; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber eine neue einfache Art der Schlierenbeobachtung; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber eine Anwendung des Gesetzes der gegenseitigen Einwirkung benachbarter Netzhautstellen; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Ueber einige Versuche mit statischer Electricität; von *V. Dvorak*, br. in-8°.

Bemerkungen zu der Mittheilung von F. Neesen « akustische Beobachtungen »; von *Dvorak*, br. in-8°.

On the cause of iridescence in clouds; by *G. Johnstone Stoney* (The Scientific Transactions of the royal Dublin Society), br. in-4°.

On New-Zealand Coleoptera, with descriptions of new genera and species; by *David Sharp* (The Scientific Transactions of the royal Dublin Society), br. in-4°.

The fossil Fishes of the Chalk of mount Lebanon, in Syria; by *James-W. Dawis* (The Scientific Transactions of the royal Society Dublin), br. in-4°.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE.

LISTE DES MEMBRES.

ANNÉE 1888.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE,

44, RUE DE RENNES, 44.

(1888.)

BUREAU.

MM. DE ROMILLY, *Président.*
MASCART, *Vice-Président.*
JOUBERT, *Secrétaire général.*
RIVIÈRE, *Secrétaire.*
LEDUC, *Vice-Secrétaire.*
MAURAT, *Archiviste-Trésorier.*

CONSEIL.

Membres résidants :

MM. BAILLE. 1886.
GIRARDET.
FRIEDEL.
PELLAT.

CARPENTIER. 1887.
FOUSSEREAU.
LEMONNIER.
PLOIX.

BECQUEREL (Henri). 1888.
BERGER.
BERTRAND (J.).
LE CHATELIER (H.).

Membres non résidants :

MM. BRILLOUIN (Toulouse). 1886.
DE CHARDONNET (Besançon).
LERMANTOFF (Saint-Pétersbourg).
ROUSSEAU (Bruxelles).

BIENAYMÉ (Toulon). 1887.
COLNET D'HUART (Luxembourg).
HAGENBACH (Bâle).
RAYET (Bordeaux).

BAILLAUD (Toulouse). 1888.
BELLATI (Padoue).
ÉLIE (Abbeville).
STOLETOW (Moscou).

ANCIENS PRÉSIDENTS.

1873.	MM.	FIZEAU.
1874.		BERTIN.
1875.		JAMIN.
1876.		QUET.
1877.		BECQUEREL (Ed.).
1878.		BLAVIER.
1879.		BERTHELOT.
1880.		MASCART.
1881.		CORNU.
1882.		GERNEZ.
1883.		JANSSEN.
1884.		POTIER.
1885.		MAREY.
1886.		SEBERT.
1887.		WOLF.

MEMBRES HONORAIRES (¹).

MM. **BROCH** (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania.
FIZEAU (**A.-H.-L.**), Membre de l'Institut.
JOULE (**J.-P.**), de Manchester.
STOKES (**G.-G.**), Professeur à l'Université de Cambridge.
Sir **WILLIAM THOMSON**, F.R.S., Professeur à l'Université de Glasgow.
BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut.
EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie Royale des Sciences de Stockholm.
BELL (**Alex. Graham**), de Washington.
BERTHELOT (**M.**), Sénateur, Membre de l'Institut.

MEMBRES A VIE (²).

PUYFONTAINE (COMTE DE), 34, avenue Friedland.
* D'ALMEIDA, Inspecteur général de l'Instruction publique, Secrétaire général de la Société.
WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 7, Portland place, Londres, W.

(¹) *Membres honoraires décédés :*

MM.	A. BECQUEREL.	1874-78.
	BILLET.	1876-82.
	V. REGNAULT.	1876-78.
	SECCHI.	1876-78.
	JAMIN.	1882-86.

EXTRAIT DES STATUTS, Art. IV. — Le titre de Membre honoraire est conféré comme un hommage et une distinction particulière à des physiciens éminents de la France et de l'étranger.

Les Membres honoraires ont voix délibérative dans les séances de la Société et du Conseil. Ils sont nommés par la Société à la majorité des voix, sur la présentation du Conseil.

Il ne peut en être nommé plus de deux chaque année.

Leur nombre est de dix au plus.

(²) Les Membres résidants ou non résidants sont libérés de toute cotisation moyennant un versement unique de 200 francs ou quatre versements de 50 francs pendant quatre années consécutives. Les sommes versées pour rachat des cotisations sont placées en valeurs garanties par l'État et leur revenu seul peut être employé aux besoins de la Société. (STATUTS, Art. III, dernier paragraphe.)

(*) Membres décédés.

MM. Berthelot, Sénateur, Membre de l'Institut, 3, rue Mazarine.
Mascart, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, 176, rue de l'Université.
* Pérot, Dessinateur et Graveur.
* Niaudet, Ingénieur civil.
Salet, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boul. Saint-Germain.
* Spottiswoode (W.), Président de la Société royale de Londres.
* Jamin, Membre de l'Institut.
Gernez, Maître de conférences à l'École Normale Supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.
Maurat, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.
* Duboscq (Jules), Constructeur d'instruments de Physique.
Tuleu, Ingénieur, 17, rue Visconti.
Fontaine (Hippolyte), Ingénieur électricien, 15, rue Drouot.
Duclos, ancien Directeur d'École Normale à Cérisols, par Sainte-Croix de Volvestre (Ariège).
* Blavier, Inspecteur général des Télégraphes, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie.
Hugo (Comte Léopold), 14, rue des Saints-Pères.
Bischoffsheim (Raphaël-Louis), député, 3, rue Taitbout.
Poussin (Alexandre), Ingénieur, au château de La Houblonnière, par Lisieux.
Ollivier (A.), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.
Fernet, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.
Bardy, Directeur du Laboratoire central des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.
Angot, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.
Alvergniat, Constructeur d'instruments de physique, 10, rue de la Sorbonne.
* Brion, Professeur de physique.
Muirhead (Dr Alexandre F. C. S.), 3, Elm Court, Temple E. C. Londres.
Caspari, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.
Blondlot, Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.
Guébhard, Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 6, rue Legoff.
Raffard (N.-J.), Ingénieur, 16, rue Vivienne.
Gauthier-Villars, Libraire-Éditeur, 55, quai des Grands-Augustins.
Bordet (Lucien), Inspecteur des Finances, ancien élève de l'École Polytechnique, 181, boulevard Saint-Germain.

MM. Lippmann, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

* Sainte-Claire Deville (Henri), Membre de l'Institut.

D'Abbadie, Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

Teploff, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimirskaïa, 15, Maison Friederichs, Saint-Pétersbourg.

Villiers (Antoine), agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

Javal, Député, Directeur du laboratoire d'Ophtalmologie à la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

Lemonnier, ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

* Terquem, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille.

Grosseteste (William), Ingénieur, 11, rue des Tanneurs, Mulhouse.

Potier, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

Martin (Ch.), rue de Bonneval, à Chartres.

* Meyer (Bernard), Ingénieur des Télégraphes.

Gray (Robert Kaye), Ingénieur électricien de l'India Rubber, Gutta and telegraph works C° limited, à Londres.

Rodde (Ferd.), 3, cité Magenta.

Friedel, membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

Lespiault, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Rodde (Léon), rua do Ouvidor, 107, à Rio de Janeiro (Brésil).

* Thollon, Physicien, à l'Observatoire de Nice.

Gariel (C.-M.), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

Baron, Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 64, rue Madame.

Buchin, 11, rue Roland, à Bordeaux.

Rivière, Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

* Moncel (comte du), Membre de l'Institut.

Joubert, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

Cabanellas, Ingénieur électricien, 30 *bis*, faubourg de la Barre, à Dieppe.

* Breguet (Antoine), ancien élève de l'École Polytechnique.

Pellat, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

Dufet, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard du Montparnasse.

* Raynaud, Directeur de l'École supérieure de Télégraphie, Répétiteur à l'École Polytechnique.

Leblanc, ancien Élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin Anglais, au Raincy.

Poincaré, Inspecteur général des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

MM. Pérard (L.), Professeur à l'Université, 101, rue Saint-Esprit, Liège (Belgique).

* Van den Kerchove, Sénateur, Gand (Belgique).

Baille, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

Carpentier, ancien élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

Romilly (de), 8, rue de Madrid.

Roger, ancien Chef d'institution, 161, rue Saint-Jacques.

Brillouin, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue de la Planche.

Abria, professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

Dollfus (Eugène), Chimiste fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse.

Ogier (Jules), Docteur ès Sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

Gotendorf (Silvanus), 39, rue de Clichy.

Duclaux, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

Kœchlin (Horace), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

Brewer (fils), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

Le Cordier (Paul), Docteur ès Sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger.

Vaschy, Sous-Ingénieur des télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

Palmade, Professeur au lycée de Saint-Etienne.

Godefroy (l'abbé), Professeur de Physique à l'Institution catholique, 175, rue de Vaugirard.

Gouloubitzky, Collaborateur de la Société des amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

Lemoine (E.), Ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

Foussereau, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

Rigout, Préparateur de Chimie à l'École Nationale des Mines.

Seligmann-Lui, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

Cornu, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

Gerboz (P.-C.), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

Bandsept, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

Brisse (Ch.), Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie (Seine).

Vautier (Théodore), Chargé des Conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

Jénot, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

MM. Godard (Léon), Docteur ès sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

Wallon (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 24, rue de Saint-Pétersbourg.

Pupin, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

Weiss, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

Lemström (Selim), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

Bouty, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

Sebert, Colonel d'Artillerie de Marine, Laboratoire Central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

Masson (G.), Libraire-Editeur, 120, boulevard Saint-Germain.

Mallard, Ingénieur en Chef des Mines, Professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 11, rue de Médicis.

Boitel, Professeur au Lycée Lakanal, 3, rue Soufflot.

Dybowski, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg, (Bel-Air).

Leduc, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

Raymond, Ingénieur des Constructions navales à Toulon.

Sainte-Claire Deville (Emile), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villers.

Touanne (de la), Ingénieur des Télégraphes, 13, rue Soufflot.

Violle, Maître de Conférences à l'Ecole Normale supérieure, 89, boulevard Saint-Michel.

Nerville (de), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

Meslin, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, Place d'Armes.

Lyon (Gustave), Ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

* Jennesson, Ancien Principal à Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

Vandenbroucque, Professeur à l'Institution libre à Marcq-en-Barœul, (Nord).

Mathias (Émile), Agrégé-préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

Laurent (Léon), Constructeur d'instruments de physique, 21, rue de l'Odéon.

Pavlidès (Démosthènes), 19, avenue du Trocadéro.

Defforges (G.), Capitaine au 16e régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 123, rue de Grenelle.

Cadot, Licencié ès Sciences, 3, rue Berthollet.

Joly, Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 72, rue Claude-Bernard.

Leroy, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

Schwedoff, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

Tripier (le Dr), 41, rue Cambon.

Le Chatelier (Louis), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

LISTE DES MEMBRES DE LA SOCIÉTÉ.

MM.

ABBADIE (d'), Membre de l'Institut, 120, rue du Bac.

ABDANK-ABAKANOWICZ, Ingénieur, 25, rue de la Montagne Sainte-Geneviève.

ABOILARD (Louis), Constructeur de lampes à incandescence, 76, avenue de Villiers.

ABRIA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 15, quai Bacalan, à Bordeaux.

ALBERT (Fernand), Licencié ès sciences, 34, rue d'Ulm.

ALEXANDRE (Henri), Ingén. des Arts et Manufactures, 184, rue de Belleville.

ALEXÉEFF, Vice-Président de la Section d'Électricité de la Société impériale polytechnique de Russie, à Saint-Pétersbourg (Russie).

ALLUARD, Correspondant de l'Institut, Professeur honoraire à la Faculté des Sciences, 22 *bis*, place de Jaude, Clermont-Ferrand.

ALVERGNIAT, Constructeur d'instruments de Physique, 10, rue de la Sorbonne.

AMAGAT, Professeur à la Faculté Catholique des Sciences, 25, rue du Plat, à Lyon.

ANDRÉ (Ch.), Professeur à la Faculté des Sciences de Lyon.

ANGOT, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 12, avenue de l'Alma.

ANTHONISSEN (Joseph), 21, rue Hauteville.

ARCHAMBAULT (J.), Professeur en retraite, 9, boulevard du Temple.

ARMAGNAT, Ingénieur, 20, rue Delambre.

ARNOUX (René), Ingénieur civil, 30, boulevard Victor Hugo, à Neuilly-sur-Seine.

ARNOYE, Professeur au Lycée de Montauban.

ARRAGON, Professeur au Lycée de la Guadeloupe.

ARSONVAL (d'), Directeur du Laboratoire de Physique biologique au Collège de France, 28, avenue de l'Observatoire.

ARTHAUD, Chef des travaux histologiques au Laboratoire de Physiologie générale du Muséum, 8 *bis*, rue Claude-Bernard.

AUBERT, Professeur au Lycée Condorcet, 22, rue Truffaut.

AUBRY, Directeur-Ingénieur des télégraphes, en retraite, 8, rue de Lorraine, à Nancy.

AUGUEZ (Émile), Sous-Directeur des contributions indirectes, 16, rue de Mouy, à Clermont (Oise).

AYLMER (John), Ingénieur, 4, rue de Naples.

AYMONNET, Professeur de Physique, 38, boulevard d'Italie.

BABLON, 42, rue Boulard.

MM.

BAGNERIS (**Eugène**), Professeur agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 25, rue Baron Louis, à Nancy.

BAILLAUD, Directeur de l'Observatoire de Toulouse.

BAILLE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 26, rue Oberkampf.

BAILLY, Professeur au Lycée de Carcassonne.

BANDSEPT, Ingénieur, 15, chaussée de Wavre, à Bruxelles.

BANET-RIVET, Professeur au Lycée de Marseille.

BARBIER (**Paul**), Ingénieur, rue du Sentier, à Meudon.

BARDY, Directeur du laboratoire central de l'Administration des Contributions indirectes, 26, rue du Général-Foy.

BARON, Directeur au Ministère des Postes et Télégraphes, 64, rue Madame.

BARRAUD (**Ph.**), Docteur en Médecine, 50, rue Saint-Placide.

BASSOT, Commandant du Génie, Chef de la Section de Géodésie au Dépôt de la Guerre, 15, rue Tronchet.

BATCHELOR (**Charles**), Administrateur de la Compagnie Edison.

BAUDOT, Inspecteur-Ingénieur des lignes télégraphiques, 53, rue de Rennes.

BEAU (**Henri**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 226, rue Saint-Denis.

BEAULARD, Professeur au Lycée, 12, avenue Victor Hugo, à Aix.

BÉCORDEL (**H. de**), Receveur principal à Saint-Amand (Cher).

BECQUEREL (**Ed.**), Membre de l'Institut, au Muséum, 57, rue Cuvier.

BECQUEREL (**Henri**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, Répétiteur à l'École Polytechnique, 57, rue Cuvier.

BÉDOREZ, Directeur des Études à l'École Monge, 145, boulevard Malesherbes.

BEDOS (**Ph.**), Professeur au Lycée, 31, rue de la République, à Carcassonne.

BEGHIN (**Auguste**), Professeur à l'École nationale des Arts industriels, 18, rue Latine, à Roubaix.

BELL (**Alexander Graham**), 95, Scott Circle, Washington D. C.

BELLATI (**Manfredo**), Professeur de Physique technique à l'École des Ingénieurs, à l'Université de Padoue (Italie).

BELLOT (**Jules**), 28, rue Saint-Lazare.

BENAVENTE Y MONTALVO (**Antonio**), Ancien professeur de Physique au Collège de Rioseco, Directeur du Collège de Villada, Province de Palentia (Espagne).

BENAVIDES (**Francisco da Fonseca**), Professeur à l'Institut industriel de Lisbonne (Portugal).

BENOIT (**René**), Docteur ès sciences, adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au pavillon de Breteuil, Sèvres.

BERGER (**Georges**), Directeur général de l'exploitation de l'Exposition universelle de 1889, 8, rue Legendre.

BERGERON, Ingénieur, 75, rue Saint-Lazare.

BERGET (**Alphonse**), Licencié ès sciences mathématiques et physiques, 14, avenue des Gobelins.

BERGON, Ancien Directeur au Ministère des Postes et des Télégraphes, 56, rue Madame.

BERGONIÉ (**Dr**), Agrégé, Maître de Conférences de Physique, à la Faculté de Médecine, 27, rue Gouvion, à Bordeaux.

MM.

BERNARD (**Alfred**), Professeur au Lycée de Périgueux.

BERSON, Professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse.

BERTHELOT, Sénateur, Membre de l'Institut, Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts, 3, rue Mazarine.

BERTRAND (**J.**), Membre de l'Académie française, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, 4, rue de Tournon.

BERTRAND (**A.-L.**), Capitaine du Génie attaché à la Section technique du Génie au Ministère de la Guerre, 8, rue Saint-Dominique.

BESANÇON (**M.-J.**), Répétiteur à l'École Turgot, 152, boulevard Voltaire.

BESOMBES (**Noël**), Ingénieur des télégraphes, 2, place Saint-Michel, à Marseille.

BESSON (**Léon**), Ancien Officier de Marine, 4, rue des Martyrs.

BEZODIS, Professeur au Lycée Henri IV, 61, rue Claude-Bernard.

BIBLIOTHÈQUE DES FACULTÉS, à Caen.

BIBLIOTHÈQUE ROYALE DE BERLIN.

BICHAT, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy, 1 *bis*, rue des Jardiniers.

BIENAYMÉ, Ingénieur en chef de la marine, à Toulon.

BISCHOFFSHEIM (**Raphaël-Louis**), Député, 3, rue Taitbout.

BLONAY (**Roger de**), 23, rue Larochefoucauld.

BLONDIN, Licencié ès sciences, 85, boulevard de Port-Royal.

BLONDLOT (**R.**), Professeur adjoint à la Faculté des Sciences, 8, quai Claude-le-Lorrain, à Nancy.

BOBILEFF, Professeur de Mécanique à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOITEL, Professeur au Lycée Lakanal, 3, rue Soufflot.

BONAVITA, Professeur au Lycée de Bastia.

BONIOL, Professeur de Mathématiques, 123, rue de la Pompe.

BONTEMS (**Emile**), Lieutenant-Trésorier au 12e chasseurs, à Grenoble.

BONVALOT, Ingénieur, 1, place Saint-Jean, à Dijon.

BORDET (**Lucien**), ancien Élève de l'École Polytechnique, Inspecteur des Finances, 181, boulevard Saint-Germain.

BOREL, Docteur en Médecine, à Puy-Saint-Martin (Drôme).

BORGMANN, Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

BOUANT, Professeur au Lycée Charlemagne, 20, rue Monsieur-le-Prince.

BOUCHARD, Sous-Ingénieur des Télégraphes, 19, quai d'Orléans, à Rennes.

BOUCHER, Préfet des Études au Collège Chaptal, 45, boulevard des Batignolles.

BOUDET DE PÂRIS (le **Dr M.**), ancien Interne des hôpitaux, 4, rue de l'Isly.

BOUDRÉAUX, Conservateur des collections de Physique à l'École Polytechnique, 5, rue Descartes.

BOULANGER, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

BOULARD, Ingénieur, 13, rue Vavin.

BOURBOUZE, Chef des travaux de Physique à l'École supérieure de Pharmacie, 340, rue Saint-Jacques.

BOURGEOIS, Répétiteur à l'École Polytechnique, 23, quai de la Tournelle.

BOURRUT-DUVIVIER, Professeur à l'École Navale, 89, rue de Siam, à Brest.

MM.

BOUSQUET, Directeur de l'École normale d'Agen.

BOUTAN, Inspecteur général de l'Instruction publique, 4, rue de l'Odéon.

BOUTET DE MONVEL, Professeur en retraite, 5, rue des Pyramides.

BOUTY, Professeur à la Faculté des Sciences, 9, rue du Val-de-Grâce.

BOVY, Ingénieur-Électricien à Bellegarde.

BRACHET, Ingénieur, 2, rue d'Égypte, à Lyon.

BRANLY, Professeur à l'Ecole libre des hautes études scientifiques et littéraires, 42, avenue de Breteuil.

BRANVILLE (**de**), Ingénieur civil, constructeur d'appareils électriques, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

BREWER (**William J.**), Constructeur d'instruments pour les sciences, 43, rue Saint-André-des-Arts.

BRIEU (**Georges**), Professeur à l'École Normale, 12, rue des Forgerons, à Périgueux.

BRILLOUIN (**Marcel**), Maître de Conférences à l'École Normale supérieure, 11 *bis*, rue de la Planche.

BRISAC, Ingénieur de l'éclairage à la Compagnie Parisienne du gaz, 7, Cité Malesherbes.

BRISSE, Répétiteur à l'École Polytechnique, 55, rue de Bécon, à Courbevoie.

BROCH (**O.-J.**), Professeur à l'Université de Christiania (Norwège), au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

BROWNE (**H.-V.**), Représentant de la compagnie Direct Spanish Telegraph, à Barcelone (Espagne).

BRUNHES (**Émile**), Professeur à la Faculté des Sciences de Dijon.

BRÜNNER, Constructeur d'instruments de précision, 159, rue de Vaugirard.

BUCHIN, 11, rue Rolland, à Bordeaux.

BUGUET, Professeur au Lycée de Moulins.

BUISSON (**Maxime**), Chimiste, rue Saint-Thomas, à Évreux.

CABANELLAS (**G.**), Ingénieur électricien, 30 *bis*, faubourg de la Barre, à Dieppe.

CADIAT, Ingénieur, 83, rue des Saints-Pères.

CADOT, Candidat à l'Agrégation, 3, rue Berthollet.

CAEL, Directeur-Ingénieur des Télégraphes, 31, rue Saint-Guillaume.

CAILLETET, Membre de l'Institut, à Châtillon-sur-Seine, et 75, boulevard Saint-Michel.

CAILLOL DE PONCY, Professeur à l'École de Médecine, 8, rue Clapier, à Marseille.

CALMETTES, Professeur au prytanée militaire de la Flèche.

CANCE, Ingénieur électricien, 9, rue de Rocroy.

CARAGUEL, Avocat, Directeur du Crédit foncier de France, à Albi, 4, rue Nego-Danos.

CARPENTIER, ancien Élève de l'École Polytechnique, constructeur d'instruments de physique, 34, rue du Luxembourg.

CARVALLO, Professeur au Lycée de Versailles.

MM.

CASALONGA, Ingénieur civil, 15, rue des Halles.

CASPARI, Ingénieur hydrographe de la Marine, 28, rue Gay-Lussac.

CAVAILLÉ-COLL, Facteur d'orgues, 15, avenue du Maine.

CAVIALE, Professeur de Physique à l'École Normale de Versailles, boulevard de Lesseps, à Versailles.

CAZES, Maître répétiteur au Lycée Saint-Louis.

CHABERT (**Léon**), Ingénieur électricien, 2, rue de Lisbonne.

CHABRERIE, Principal du Collège de Treignac (Corrèze).

CHABRY (Dr **L.**), Docteur ès Sciences, Directeur adjoint du laboratoire de Zoologie de Concarneau, 2, rue Mirbel.

CHAMAND (**Joseph**), capitaine adjudant-major au 32e rég. d'infanterie, 78, rue Colbert, à Tours.

CHAMANTOFF (**Nicolas**), Préparateur au cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

CHAMBERT (**Paul**), rue de la Manufacture, à Châteauroux.

CHAPERON (**Georges**), Ingénieur civil des Mines, Inspecteur divisionnaire du travail dans l'Industrie, 23, rue de la Fère, à Saint-Quentin.

CHAPPUIS, Professeur à l'École centrale, 7, rue Laplanche.

CHAPPUIS (**Pierre**), attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

CHAPUY (**Paul**), Ingénieur des Mines, à Grenoble.

CHARDONNET (**le comte de**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 20, place de l'État-Major, à Besançon.

CHASSAGNY, Agrégé-préparateur à l'École Normale supérieure, 45, rue d'Ulm.

CHAUSSEGROS, Ingénieur, chef de traction au chemin de fer, à Orléans.

CHAUTARD, Doyen de la Faculté libre des Sciences de Lille.

CHAUVEAU, Professeur de Physique, 20, rue de la Sorbonne.

CHAUVIN, Maître de conférences à la Faculté des Sciences de Toulouse.

CHAVES (**Antonio Ribeiro**), 116, rua do Ouvidor, à Rio de Janeiro (Brésil).

CHERVET, Professeur au Lycée Henri IV, 18, rue Nicole.

CHRÉTIEN, Chef de fabrication à la manufacture de caoutchouc de Chamalière (Puy-de-Dôme).

CIVIALE (**A.**), 2, rue de la Tour-des-Dames.

CLAVEAU, Professeur au Lycée de Vesoul.

CLAVERIE, Censeur du Lycée Lakanal, à Sceaux.

COLARDEAU, Professeur au Lycée de Lille.

COLARDEAU (**Emmanuel**), Professeur au Lycée Saint-Louis.

COLLEY (**Robert**), Professeur de Physique à l'Académie agronomique de Petrowskoyé, près Moscou (Russie).

COLNET D'HUART (**de**), Membre de l'Académie Royale de Belgique, Directeur de l'Athénée à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

COLNET D'HUART (**François de**), Docteur ès Sciences, Professeur à l'Athénée de Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

MM.

COLSON (**R.**), Capitaine du Génie, 66, rue de la Pompe.

COMBES (**A.**), Docteur ès sciences, Ancien élève de l'École Polytechnique, 6, rue du Val-de-Grâce.

COMBETTE, Professeur au Lycée Saint-Louis, 63, rue Claude-Bernard.

CORNU, Membre de l'Institut, 9, rue de Grenelle.

CORVISY, Professeur au Lycée, 2, rue du Poirier, à Saint-Omer.

COULIER, Membre du Comité de Santé des armées, 26, rue Gay-Lussac.

COUPIER, à Saint-Denis-Hors, par Amboise.

COURQUIN (**l'abbé**), Professeur à l'Institution libre du Sacré-Cœur à Tourcoing.

COURTOY, Professeur à l'École vétérinaire, 47, rue Bara, à Bruxelles.

COUSTÉ, ancien Directeur de la Manufacture des Tabacs, 9, boulevard de l'Odet, à Quimper, et 5, Place Saint-François-Xavier.

CROIX (**Victor**), Professeur au Collège, 36 *bis*, rue de Valenciennes, à Saint-Amand-les-Eaux (Nord).

CROS (**Ch.**), 9, rue Christine.

CROVA, Correspondant de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 14, rue du Carré-du-Roi, Montpellier.

CUÉNOD, Ingénieur électricien, 10, boulevard Voltaire, à Genève.

CULMANN, Docteur ès sciences, attaché à la maison Bréguet, 39, quai de l'Horloge.

CURIE (**Pierre**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la Ville de Paris, 5, avenue de Sceaux, à Fontenay-aux-Roses.

CUSCO (le Dr), chirurgien à l'Hôtel-Dieu, 97, rue des Petits-Champs.

DAGUENET, Professeur au Lycée, 8, rue Montbauron, à Versailles.

DALMAU, Ingénieur, 9, Rambla del Centro, à Barcelone (Espagne).

DALY, Docteur en médecine, à Angoulême.

DAMBIER, Professeur au Collège Stanislas, 151, rue de Rennes.

DAMIEN, Professeur à la Faculté des Sciences, à Lille, 49, rue Brûle-Maison.

DANIEL, ancien Professeur à l'École Centrale, à Saint-Mâlo-de-Lalande (Manche).

DAVID (**André**), rue Buisson, à Saint-Étienne.

DEBRAY, Membre de l'Institut, 16, rue Vauquelin.

DEDET, Professeur au Lycée d'Albi.

DEFFORGES (**G.**), Capitaine au 16e régiment de ligne, détaché à l'État-Major général du Ministère de la Guerre, 123, rue de Grenelle.

DELATTRE (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 20, rue Saint-Georges.

DELAURIER, Ingénieur, 77, rue Daguerre.

DELEUIL, Constructeur d'instruments de Physique, 42, rue des Fourneaux.

DELEVEAU, Professeur au Lycée, 39, rue de Lodi, à Marseille.

DEMERLIAC, Professeur au Lycée d'Évreux.

DEMICHEL, Constructeur d'instruments pour les Sciences, 24, rue Pavée-au-Marais.

DEPREZ (**Marcel**), Membre de l'Institut, 30, rue des Binelles, à Sèvres.

MM.

DESEILLIGNY (**l'abbé**), à l'Archevêché de Rouen.

DESEILLIGNY (**Jules**), au 28e régiment d'infanterie, caserne Saint-Vivien, à Rouen.

DESLANDES, ancien Officier de marine, 20, rue Larochefoucauld.

DESLANDRES, ancien Élève de l'École Polytechnique, 43, rue de Rennes.

DESPLATS, Professeur Agrégé de la Faculté de Médecine, 17, boulevard de la Madeleine.

DESPRATS, Principal du Collège de Villefranche-sur-Saône (Rhône).

DESROZIERS, Ingénieur civil des Mines, 16, rue Taitbout.

DEVAUX, Professeur au Lycée de Grenoble.

D'HENRY (**Louis**), 6, boulevard de Port-Royal.

DIDIER (**P.**), Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 9, rue de l'Abbé-de-l'Épée.

DIETRICH (**Ch.**), Dessinateur et graveur, 3, rue Hautefeuille.

DINI, Ingénieur de la Maison Dumoulin-Froment, 49, rue Saint-Placide.

DOLLFUS (**Eugène**), Chimiste, fabricant d'indiennes, 32, rue d'Altkirch, à Mulhouse (Alsace).

DOUCEUR, Directeur des postes et télégraphes, retraité, 42, rue Jouffroy.

DOULIOT, Principal du Collège d'Épinal.

DRINCOURT, Professeur au Collège Rollin.

DUBOIS, Professeur au Lycée, 31, rue Cosette, à Amiens.

DUBOSCQ (**Albert**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

DUBOSCQ (**Théodore**), Constructeur d'instruments de Physique, 11, rue des Fossés-Saint-Jacques.

DUCHEMIN, Ingénieur, 37, boulevard de la Tour-Maubourg.

DUCLAUX, Professeur à l'Institut agronomique, 15, rue Malebranche.

DUCLOS, Ancien Directeur d'École normale à Cerisols, par Sainte-Croix-de-Volvestre (Ariège).

DUCOMET, Ingénieur, 20, rue des Petits-Hôtels.

DUCRETET, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue Claude-Bernard.

DUFET, Professeur au Lycée Saint-Louis, 130, boulevard Montparnasse.

DUFOUR (**Henri**), Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de l'Académie, 22, rue Maupas, à Lausanne (Suisse).

DUHEM, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 12, rue Mazurel, à Lille.

DUJARDIN, 89, boulevard du Montparnasse.

DUMOULIN-FROMENT, Constructeur d'instruments de précision, 85, rue Notre-Dame-des-Champs.

DUPRÉ, Inspecteur de l'Académie de Paris, 60, rue des Tournelles.

DUPUY, Ingénieur, 17, rue Condorcet, à Lisieux.

DUSSY, Professeur au Lycée, 14, rue Berbisey, à Dijon.

DUTER, Professeur au Lycée Henri-IV, 16, rue Bertin-Poiré.

DVORÀK (**Dr V.**), Professeur à l'Université d'Agram (Autriche-Hongrie).

DYBOWSKI, Professeur au Lycée Charlemagne, 16, rue Rottembourg.

MM.

EBEL, Ingénieur des Arts et Manufactures, Directeur de la Cie Edison, 14, rue du Treuil, à Saint-Etienne.

EDELBERG, Ingénieur opticien, à Kharkoff (Russie).

EDLUND, Professeur de Physique à l'Académie royale des Sciences de Stockholm (Suède).

EGOROFF (**Nicolas**), Professeur de Physique à l'Académie de Médecine de Saint-Pétersbourg (Russie).

EICHTHAL (baron **d'**), 42, rue Neuve-des-Mathurins.

EIFFEL (**Gustave**), Ingénieur constructeur de ponts et charpentes métalliques, 60, rue de Prony.

ÉLIE (**B.**), Professeur au Collège, 90, rue de la Pointe, à Abbeville.

ESTRADA (**Francisco**), Recteur de l'Institut de San-Luis de Potosi (Mexique).

ÉTARD (**Alexandre**), Préparateur de Physique à l'École de Physique et de Chimie, 42, rue Lhomond.

FARGUES DE TASCHEREAU, Professeur au Lycée Condorcet, 30, rue des Aubépines, à Bois-Colombes.

FAURE (**Camille A.**), Ingénieur, The electrical accumulator C°, Lister avenue, Newark, New Jersey (U. S. A).

FAVÉ, Ingénieur hydrographe, 11, passage de la Visitation.

FAVARGER, Ingénieur électricien, à Neuchâtel (Suisse).

FAYE, Membre de l'Institut, 95, avenue des Champs-Élysées.

FERNET, Inspecteur général de l'Instruction publique, 9, rue de Médicis.

FERRAY (**Édouard**), Pharmacien, rue du Grand-Carrefour, à Evreux.

FERRO CARDOSO (**Daniel Pedro**), Ingénieur, 123, boulevard Saint-Germain.

FINK, Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles de la ville de Paris, 42, rue Lhomond.

FIZEAU, Membre de l'Institut, 3, rue de l'Estrapade.

FLAMARY, Professeur à l'École Normale de Châteauroux.

FONTAINE (**Hippolyte**), Ingénieur électricien, 22, rue Notre-Dame-de-Lorette.

FONTAINE, Chimiste, 20, rue Monsieur-le-Prince.

FOURNIER (le Dr **Alban**), à Rambervillers (Vosges).

FOURTEAU, Proviseur du Lycée de Saint-Etienne.

FOUSSEREAU, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 56, boulevard de Port-Royal.

FRICKER (le **D^r**), 39, rue Pigalle.

FRIDBLATT (**A.**), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Alger.

FRIEDEL, Membre de l'Institut, 9, rue Michelet.

FRON, Météorologiste titulaire au Bureau central météorologique, 41, rue Madame.

GAIFFE (**Georges**), Constructeur d'instruments de Physique, 40, rue Saint-André-des-Arts.

GARBAN, Inspecteur d'Académie, à Limoges.

GARBE, Professeur à la Faculté des Sciences de Poitiers.

MM.

GARÉ (l'Abbé), Professeur à l'École Saint-Sigisbert, à Nancy.

GARIEL (**C.-M.**), Membre de l'Académie de Médecine, Professeur à la Faculté de Médecine, 39, rue Jouffroy.

GARNUCHOT, Professeur au Collège, rue Saint-Barthélemy, à Melun.

GAUBERT, Horloger-Électricien, à Gruissan (Aude).

GAUTHIER-VILLARS, Libraire-Éditeur, ancien Élève de l'École Polytechnique, 55, quai des Grands-Augustins.

GAVARRET, Inspecteur général de l'enseignement supérieur, 73, rue de Grenelle.

GAY, Professeur au Lycée, 36, rue de la Gare, à Lille.

GAY, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 6, rue Mézières.

GAYON, Professeur à la Faculté des Sciences, Directeur de la Station agronomique, 56, rue de la Benauge, à La Bastide-Bordeaux.

GENDRON (**Rudolph**), Préparateur à l'École libre des hautes études scientifiques et littéraires, 12, rue Campagne-Première.

GÉRARD (**Anatole**), Ingénieur mécanicien, 39, avenue Marceau, à Courbevoie.

GÉRARD (**Éric**), Professeur à l'Institut électrotechnique de Montefiore, à Liège.

GERBOZ (**P.-C.**), Constructeur d'instruments de précision, 52, rue des Écoles.

GERNEZ, Maître de conférences à l'École Normale supérieure, 18, rue Saint-Sulpice.

GHESQUIER (l'Abbé), Professeur au Collège, 76, rue du Collège, à Roubaix.

GILLET DE GRANDMONT (**Dr**), Secrétaire général de la Société de médecine pratique, 4, rue Halévy.

GIRARDET, Professeur au Lycée Saint-Louis, Membre du Conseil supérieur de l'Instruction publique, 90, rue Claude-Bernard.

GIRAUD, Ingénieur mécanicien, 18, rue de Paris, à Clichy.

GIRAULT, Professeur au Collège Chaptal, 8, rue Claude-Pouillet.

GIROUX, Ingénieur opticien, successeur de M. Roulot, 58, quai des Orfèvres.

GLASEWSKI (**P.-J.-Alexandre**), Commissionnaire en Instruments de Physique, route de Brie, avenue des Tilleuls, 3 *bis*, à Nogent-sur-Marne.

GODARD (**Léon**), Docteur ès Sciences, 82, boulevard Saint-Germain.

GODEFROY (l'Abbé **L.**), Professeur de Chimie, 175, rue de Vaugirard.

GODFRIN, Professeur au Lycée de Valenciennes.

GODRON, Élève Ingénieur des Ponts et Chaussées.

GODY (**G.**), Architecte du département des travaux publics, 15, rue du Viaduc, Bruxelles (Belgique).

GOLAZ, Constr. d'instruments de Physique, 282, rue Saint-Jacques.

GOLOUBITZKY (**Paul**), Collaborateur de la Société des Amis des Sciences de Moscou, à Kalouga Faroussa (Russie).

GOMEZ (**Francisco Lopez**), Professeur à l'Institut de Valladolid (Espagne).

GOSSART (**Fernand**), Docteur en droit, 15, rue Tronchet.

GOSSART, Professeur au Lycée, rue de l'Académie, à Caen.

GOSSE, Préparateur de Physique au Lycée Saint-Louis.

GOSSIN, Proviseur au Lycée de Lille.

GOTENDORF (**Silvanus**), 39, rue de Clichy.

MM.

GOULIER, Colonel du Génie, 6, rue d'Estrées.

GOURÉ DE VILLEMONTÉE, Professeur à l'École normale de Cluny.

GOUTY, Ingénieur, à Genève (Suisse).

GOUY, Professeur à la Faculté des Sciences, 2, place Raspail, à Lyon.

GOVI, Sénateur, Professeur à l'Université de Naples, 5, via Nuova Pizzofalcone (Italie).

GRAJON (**A.**), Docteur en Médecine à Vierzon.

GRAMMACINI (**J.**), Receveur-Chef du Poste central des télégraphes, à Paris, 103, rue de Grenelle.

GRAVIER (**Alfons**), Ingénieur, 7, rue Faraday.

GRAY (**Matthew**), Directeur de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, 106, Cannon street, Londres.

GRAY (**Robert Kaye**), Ingénieur électricien de l'India-Rubber, Gutta-percha and Telegraph Works C°, Silwertown, Essex, à Londres.

GRÉHANT (**Dr**), Directeur-adjoint du Laboratoire de Physiologie générale, au Muséum, 17, rue Berthollet.

GRELLEY, Directeur de l'École Supérieure du Commerce, 102, rue Amelot.

GRENIER (**Félix**), Préfet des Deux-Sèvres, à Niort.

GREZEL (**Louis**), Professeur de Physique à Nantua.

GRIPON, Professeur à la Faculté des Sciences, 5, faubourg de Paris, à Rennes.

GRIVEAUX, Professeur au Lycée, 16, rue Montbrillant, à Mont-Plaisir (Lyon).

GROGNOT (**L.**), Chimiste, Essayeur du Commerce, rue du Bourg, à Chantenay-sur-Loire (Maison Chopin) (Loire-Inférieure).

GROOT (le P. **L.-Th. de**), 11, rue des Récollets, à Louvain (Belgique).

GROSSETESTE (**William**), Ingénieur civil, 11, rue des Tanneurs, à Mulhouse.

GUEBHARD, Professeur Agrégé de Physique de la Faculté de Médecine, 6, rue Le Goff.

GUELPA, Principal du Collège de Blidah (Algérie).

GUERBY, Professeur au Collège, à Grasse (Alpes-Maritimes).

GUÉRIN (**Émile**), Fabricant d'appareils électriques, 5, rue Montmorency.

GUILLAUME, Docteur ès sciences attaché au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

GUILLEBON (**de**), Contrôleur de l'exploitation au chemin de fer d'Orléans, 5, rue du Bourg-Neuf, Orléans.

GUNTZ, Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

HAGENBACH, Professeur à l'Université de Bâle (Suisse).

HANRIOT, Professeur honoraire de Physique de la Faculté des Sciences de Lille, à Joppécourt (Meurthe-et-Moselle).

HARDY (Dr **E.**), Chef des travaux chimiques de l'Académie de Médecine, 90, rue de Rennes.

HAUCK (**W.-J.**), Constructeur d'instruments de Physique, 20, Kettenbrücken Gasse, à Vienne (Autriche).

MM.

HELOUIS, Ingénieur, 17, rue Reine-Henriette, à Colombes.

HENOCQUE (le Dr), Directeur-adjoint au Laboratoire de Médecine de l'École des Hautes-Études au Collège de France, 87, avenue de Villiers.

HEPITÈS (**Stefan**), Ingénieur, Directeur général du Ministère des Domaines, à Bucarest (Roumanie).

HESEHUS (**N.**), Privat-docent à l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

HILLAIRET (**André**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 9, rue Roquépine.

HOSPITALIER, Ingénieur des arts et manufactures, 6, rue du Bellay.

HOSTEIN, Professeur au Lycée, 37, rue Isabey, Nancy.

HUDELOT, Répétiteur à l'École Centrale, 6, rue Saint-Louis en l'Ile.

HUGO (le Comte **Léopold**), 14, rue des Saints-Pères.

HUGON, Ingénieur, 77, rue de Rennes.

HUGUENY, Prof. honoraire de Faculté, 19, rue des Frères, à Strasbourg.

HURION, Professeur à la Faculté des Sciences, 65, rue Blattin, Clermont-Ferrand.

HUSSON (**Léon**), Contrôleur du Câble télégraphique à Haïphong (Tonkin).

IMBERT (**Armand**), Professeur agrégé de Physique à la Faculté de Médecine de Montpellier.

INFREVILLE (**G. d'**), Électricien de la Western Union Telegraph C°, 408 West, 43rd street, à New-York (États-Unis).

ISAMBERT, Professeur à la Faculté des Sciences, boulevard de la Préfecture, à Poitiers.

IVANOFF (**Basile**), Licencié ès sciences (maison Ivanoff), à Simpheropol (Russie).

JABLOCHKOFF, Ingénieur, 21, rue Parmentier, à Neuilly-sur-Seine.

JANNETTAZ (**Ed.**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 9, rue Linné.

JANNIN, Professeur de Physique en retraite, 10, rue du Jardin national, à Albi.

JANSSEN, Membre de l'Institut, Directeur de l'Observatoire d'Astronomie physique, à Meudon.

JARRE, 2, rue des Pyramides.

JAVAL, Député, Directeur du Laboratoire d'Ophtalmologie de la Sorbonne, 58, rue de Grenelle.

JÉNOT, Professeur au Collège Rollin, 12, rue Constance.

JEUNET, Professeur au Lycée d'Angoulême.

JOLY, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 72, rue Claude-Bernard.

JOLY (**Léon**), Inspecteur du Crédit Foncier, Ferme de Pargny, près Château-Porcien (Ardennes).

JOUBERT, Professeur au Collège Rollin, 67, rue Violet.

JOUBIN, Agrégé-préparateur au Collège de France, 33, rue de Tournon.

MM.

JOUET, 6, rue de Clichy.

JOULE (**J.-P.**), F. R. S., 13, Wardle Road, Sale, Manchester (Angleterre).

JUNGFLEISCH, Professeur à l'École supérieure de Pharmacie, 38, rue des Écoles.

JUSSIEU (**F. de**), Imprimeur, Directeur du journal *l'Autunois*, 4, Grand'Rue, à Autun.

KAREIS, Professeur de Physique, à Vienne (Autriche).

KERANGUÉ (**Yves de**), Capitaine adjudant-major au 23e bataillon de chasseurs à pied, à Limoges.

KŒCHLIN (**Horace**), Chimiste, fabricant d'indiennes, à Lœrrach (Baden).

KŒNIG, Constructeur d'instruments d'Acoustique, 27, quai d'Anjou.

KOTCHOUBEY, Président de la Société Impériale Polytechnique, à Saint-Pétersbourg (Russie).

KOWALSKI, Prof. à l'École supérieure du Commerce et de l'Industrie, 1, rue de Grassi, à Bordeaux.

KRETZ, Ingénieur des Manufactures de l'État, 66, rue de Rennes.

KROUCHKOLL, Licencié ès Sciences, 17, faubourg Saint-Jacques.

LACOINE (**Émile**), Ingénieur-Électricien, à Constantinople (Turquie).

LAFOREST (Comte **de**), Colonel du 6e de ligne, à Saintes.

LALANCE (l'Abbé), Curé de Xivry-le-Franc (Meurthe-et-Moselle).

LALANDE, Libraire, à Brives.

LALANDE (**de**), Ingénieur civil des Mines, ancien élève de l'École Polytechnique, 87, rue de Rennes.

LAMANSKY, Professeur à l'Université, à Saint-Pétersbourg (Russie).

LAMON, Constructeur d'instruments de Physique, 4, rue Rothschild, à Genève (Suisse).

LANGLADE, Ingénieur civil, 22, rue Saint-Augustin.

LARNAUDE, Ingénieur des Arts et Manufactures, à Aulnay par Maule (Seine-et-Oise).

LAROCHE, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 110, avenue de Wagram.

LAROCQUE, Directeur de l'École des Sciences, à Nantes.

LATCHINOW, Professeur à l'Institut du corps forestier, à Saint-Pétersbour (Russie).

LAURENT (**Léon**), Constructeur d'instruments de Physique, 21, rue de l'Odéon.

LAVIÉVILLE, Professeur au Lycée Condorcet, 56, rue de Lisbonne.

LAW (**Arthur B.**), 49 ter, allées d'Amour, à Bordeaux.

LAWTON (**George Fleetwood**), Ingénieur-Directeur de l'Eastern Telegraph C°, 2, boulevard du Muy, à Marseille.

LEBLANC, ancien élève de l'École Polytechnique, 63, allée du Jardin-Anglais, au Raincy.

LEBOSSÉ (l'Abbé), Professeur de Physique au Collège Saint-Jean, 12, rue de Béthune, à Versailles.

MM.

LECHAT, Professeur en retraite, 27, rue Vital.

LE CHATELIER (**André**), Ingénieur des constructions navales, à Toulon.

LE CHATELIER (**Henry**), Ingénieur des Mines, professeur de Chimie générale à l'École des Mines, 73, rue Notre-Dame-des-Champs.

LE CHATELIER (**Louis**), Ingénieur des Ponts et Chaussées, 95, rue de Rennes.

LE CHÂTONNIER, Chimiste en chef des Douanes, à Rouen.

LECOQ DE BOISBAUDRAN (**François**), Correspondant de l'Institut, à Cognac, et 36, rue de Prony.

LE CORDIER (**Paul**), Docteur ès sciences, Professeur à l'École supérieure des Sciences d'Alger, 15, rue de Tanger, Alger.

LEDEBOER, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Paris.

LE DOLLEY, Contrôleur des Télégraphes, 15, rue Terme, à Lyon. Central.

LEDUC, Professeur au Lycée Louis-le-Grand, 136, rue d'Assas.

LEFEBVRE, Capitaine au 95e d'infanterie, à Bourges.

LEFEBVRE, Professeur au Lycée, 18, rue Montbauron, à Versailles.

LEFEBVRE (**Victor**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 70, avenue du Maine.

LELORIEUX, Professeur au Lycée Lakanal, 110, boulevard Arago.

LEMOINE (**E.**), ancien élève de l'École Polytechnique, 5, rue Littré.

LEMOINE (**G.**), Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 76, rue d'Assas.

LEMONNIER, Ancien élève de l'École Polytechnique, 26, avenue de Suffren.

LEMSTRÖM (**Selim**), Professeur de Physique à l'Université de Helsingfors (Finlande).

LÉON (**Gustave**), Ingénieur au Corps des Mines, 1, rue Madame.

LEPERCQ (**Gaston**), Professeur de Chimie à la Faculté libre, 25, rue du Plat, à Lyon.

LERMANTOFF, Préparateur au Cabinet de Physique de l'Université de Saint-Pétersbourg (Russie).

LE ROUX, Examinateur à l'École Polytechnique, 120, boulevard Montparnasse.

LEROY, Professeur au Lycée de Vanves, 4, rue de la Grande-Chaumière.

LEROY, Médecin-Major au 6e régiment de cuirassiers, 18, avenue de Breteuil.

LESAGE, Professeur au Lycée de Châteauroux.

LESCHI, Professeur au Collège de Corte.

LESPIAULT, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

LÉTANG (**Paul**), Préparateur à la Faculté des Sciences, 31, boulevard de Port-Royal.

LÉVY, Chef d'Institution, 20, rue Vauquelin.

LÉVY (**Armand**), Professeur au Lycée de Poitiers.

LIBERT (**J.-C.-D.**), Professeur au Collège de Morlaix.

LIPPICH (**Fr.**), Professeur à l'Université de Prague (Autriche).

LIPPMANN, Membre de l'Institut, Professeur à la Faculté des Sciences, 108, boulevard Saint-Germain.

LISLEFERME (**de**), Ingénieur en retraite, à Taillebourg (Charente-Inférieure).

MM.

LOIR, Directeur-Ingénieur des télégraphes, à Lyon.

LORRAIN (**James-Grieves**), Consalting Engineer Norfolk House, Norfolk street, London. W. C.

LOUGUININE, Officier supérieur de l'armée russe, 4, rue Mesnil.

LUCCHI (Dr **Guglielmo de**), Professeur de Physique au Lycée Royal Tito Livio, Padoue (Italie).

LUTZ, Constructeur d'instruments d'optique, 65, boulevard Saint-Germain.

LYON (**Gustave**), ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur civil des Mines, 24 *bis*, rue Rochechouart.

MACÉ DE LÉPINAY, Professeur à la Faculté des Sciences, 105, boulevard Longchamps, à Marseille.

MACH (Dr **E.**), Professeur de Physique à l'Université de Prague (Autriche).

MADAMET, Directeur de l'École d'application du Génie maritime, 84, boulevard Saint-Michel.

MAGNE, Directeur-Ingénieur du contrôle des Postes et des Télégraphes, 34, avenue de Villiers.

MAICHE, Ingénieur électricien, 3, rue Louis-le-Grand.

MAIGRET (Dr), 44, avenue de la République, Grand-Montrouge.

MAISONOBE, Lieutenant au 6e régiment d'Artillerie, à Clermont-Ferrand.

MALLARD, Ingénieur en chef des Mines, professeur de Minéralogie à l'École des Mines, 11, rue de Médicis.

MALOSSE, Professeur agrégé à l'École de Médecine, 2, rue Marceau, à Montpellier.

MANEUVRIER, Agrégé de l'Université, attaché à l'École des Hautes Études, 54, rue Notre-Dame-des-Champs.

MAREY, Membre de l'Institut, 11, boulevard Delessert.

MARIA (**Emile**), Professeur à l'École Turgot, 12, rue de Longchamps.

MARTIN (**Ch.**), rue de Bonneval, à Chartres.

MARTINET, Professeur au Lycée Janson de Sailly, 5, rue de l'Amiral Courbet.

MASCART, Membre de l'Institut, Professeur au Collège de France, Directeur du Bureau central météorologique, 176, rue de l'Université.

MASSE, Professeur au Lycée de Toulon.

MASSIEU, Professeur à la Faculté des Sciences de Rennes.

MASSON (**G.**), Libraire-Éditeur, 120, boulevard Saint-Germain.

MATHIAS (**Émile**), Agrégé-Préparateur à la Faculté des Sciences, 75, rue Saint-Honoré.

MAUMENÉ, Professeur à la Faculté libre des Sciences de Lyon, et 91, avenue de Villiers.

MAUPEOU D'ABLEIGES (**de**), Ingénieur de la Marine, Membre du Conseil des travaux, 30, rue Vittal (Passy).

MAURAT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 31, boulevard de Port-Royal.

MEAUX (**de**), Chef de Bureau au Ministère des Postes et des Télégraphes, 44, rue Saint-Placide.

MM.

MENDELSSOHN (**Maurice**), Docteur en Médecine, 111, boulevard Saint-Germain.

MÉNIER (**Henri**), 5, avenue Van-Dyck.

MERCADIER, Directeur des Études à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

MERGIER, Préparateur des travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, 133, boulevard Saint-Michel.

MÉRITENS (**de**), Ingénieur, 73, rue Pigalle.

MERLIN (**Paul**), Professeur au Lycée Condorcet, 7, rue de la Montagne Sainte-Geneviève.

MERSANNE (**de**), Ingénieur-Électricien.

MESLIN, Professeur au Lycée de Poitiers, 28, place d'Armes.

MESTRE, ancien élève de l'École Polytechnique, Ingénieur au chemin de fer de l'Est, 132, rue Lafayette.

MEYLAN, Ingénieur, Secrétaire de la rédaction du Journal *La Lumière électrique*, 31, boulevard des Italiens.

MEYSENHEIM (**Louis-Maria**), Chef de Section des Chemins de fer au Ministère des Travaux publics, 4, avenue de la Gare, à Nanterre-sur-Seine.

MINARY, Ingénieur, 37, rue Battant, à Besançon.

MINGASSON, Professeur au Lycée de Vanves.

MINNE, Constructeur d'instruments de Physique, 75, rue de la Glacière.

MOITESSIER (**Albert**), Professeur à l'École de Médecine de Montpellier, Faubourg Boutonnet.

MOLTENI, Ingénieur-Constructeur, 44, rue du Château-d'Eau.

MOLZ, Ingénieur, 149, rue de Rennes.

MONDOS (**Robert**), Ingénieur, 89, rue Nollet.

MONOYER, Professeur à la Faculté de Médecine de Lyon.

MONTAUD (**B. de**), Ingénieur civil, 73, rue d'Allemagne.

MONTEFIORE (**Levi**), Ingénieur, Sénateur, Fondateur de l'Institut électrotechnique à Liège.

MONTEIL (**Silvain**), Juge de Paix à Mercœur (Corrèze).

MONTHIERS (Maurice), 135, boulevard Malesherbes.

MORANA (**Ignace**), Électricien, 44, rue de Lausanne, à Genève.

MORELLE, Chef des travaux pratiques de la Physique à la Faculté de Médecine, 11, rue Caumartin, à Lille.

MORELLE, Constructeur-Mécanicien, 39, avenue d'Orléans.

MORS, Ingénieur, fabricant d'appareils électriques, 8, avenue de l'Opéra.

MOSER (**Dr James**), Docent à l'Université, Schwarz Spanier St. 16, Vienne (Autriche).

MOUCHEZ (l'Amiral), Directeur de l'Observatoire de Paris.

MOUCHOT, Professeur en retraite, 39, rue de Fleury, à Fontainebleau.

MOUTIER, Examinateur de sortie à l'École Polytechnique, 13, rue Gay-Lussac.

MM.

MOUTON, Maître de conférences de Physique à la Sorbonne, 1, rue de l'Audience, à Fontenay-sous-Bois.

MUIRHEAD (Dr **Alexandre**) F. C. S., 5, Cowley Street, Westminster, S. W. Londres.

MUIRHEAD (**John**), Fabricant d'appareils électriques, 29, Regency-Street, Westminster, Londres.

NACHET (**A**), Constructeur d'instruments d'optique, 17, rue Saint-Séverin.

NACHET (**Camille**), Constructeur d'instruments d'optique, 21, rue Caumartin.

NAMBA MASSACHI, à l'Université, Dépt des Sciences, à Tokio (Japon).

NAPOLI (**David**), Inspecteur du matériel, chef du Laboratoire des Essais au chemin de fer de l'Est, 34 *ter*, rue de Dunkerque.

NEGREANO (**D.**), Professeur au Lycée de Jassy (Roumanie), et 32, rue des Écoles.

NOUGARET (**Élie**), Professeur au Lycée, place Plumancy, à Périgueux.

NERVILLE (**de**), Ingénieur des Télégraphes, 116, boulevard Haussmann.

NEUBURGER, Professeur au Lycée, 11, avenue du Vieux-Marché, à Orléans.

NEYRENEUF, Professeur à la Faculté des Sciences de Caen.

NOAILLON, Ingénieur civil, à la Chénée, près Liège (Belgique).

NODON (**Albert**), Ingénieur civil, 23, rue de l'Ancienne-Comédie.

NODOT, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences de Dijon.

NOÈ (**Charles**), Constructeur d'instruments pour les Sciences, 8, rue Berthollet.

NOGUÉ (**Émile**), Attaché à la Maison Pellin-Duboscq, 138, rue d'Assas.

NOTHOMB (**Louis**), Professeur de télégraphie technique à l'École de Guerre, 91, avenue Louise, à Bruxelles.

ODINOT, Professeur au Collège, 1, rue de l'Hôtel-de-Ville, à Épinal.

OFFRET, Professeur au Lycée, 9, rue Martin du Nord, à Douai.

OFFRET (**Albert**), Maître de Conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 77, avenue de Saxe, à Lyon.

OGIER (**Jules**), Docteur ès sciences, Chef du laboratoire de Toxicologie, 6, rue de Beaune.

OLIVIER (**Louis**), Docteur ès sciences, 56, rue Gay-Lussac.

OLLIVIER (**A.**), Ingénieur civil, 51, boulevard Beaumarchais.

ONDE, Professeur au Lycée Henri IV, 41, rue Claude-Bernard.

ORDUÑA, Ingénieur, à Madrid (Espagne).

ORLÉANS (Comte **d'**), Colonel d'État-Major en retraite, 9, rue de Mailly.

PAILLARD-DUCLÉRÉ (**Constant**), Secrétaire d'Ambassade, 96, boulevard Haussmann.

PAILLOT, Chef des Travaux pratiques à la Faculté des Sciences de Lille.

MM.

PALAZ (**Adrien**), Dr ès Sciences, attaché au Bureau International des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

PALMADE, Professeur au Lycée de Saint-Etienne.

PALMADE, Capitaine du Génie, à l'École Polytechnique, 2, rue Descartes.

PANZANI (**J.-P.**), Licencié ès Sciences mathématiques et physiques au Lycée Louis-le-Grand.

PARAYRE (l'abbé), Licencié ès Sciences physiques, 9, rue Vineuse.

PARENTHOU (**Émile**), Ingénieur, 20, rue des Grands-Augustins.

PARISSE, Ingénieur des Arts et Manufactures, 49, rue Fontaine-au-Roi.

PARMENTIER, 21, avenue de la Toison-d'Or, à Bruxelles (Belgique).

PASQUIER (Dr), rue Saint-Nicolas, à Evreux.

PASSOT (Dr), 34, rue Saint-Basile, à Marseille.

PAUCHON (**Ernest**), Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 49, rue Ecuyère, à Caen.

PAUL (**Amédée**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, à Bone (Algérie).

PAUMÈS, Docteur en Médecine, rue Pergaminien, à Toulouse.

PAVLIDÈS (**Démosthènes**), Étudiant en Médecine, 19, avenue du Trocadéro.

PAYN (**John**), Directeur de l'Eastern Telegraph C°, au Caire (Egypte).

PEDROSO (**Carlos de**).

PELLAT (**H.**), Maître de Conférences à la Faculté des Sciences, 3, avenue de l'Observatoire.

PELLERIN, Professeur de Physique à l'École de Médecine de Nantes.

PELLIN (**Philibert**), Ingénieur des Arts et Manufactures, successeur de M. Jules Duboscq, 21, rue de l'Odéon.

PÉRARD (**L.**), Professeur à l'Université, 101, rue St-Esprit, à Liège (Belgique).

PÈRIER (**Paul**), attaché au Bureau central Météorologique, 176, rue de l'Université.

PÉRIGNON, 105, rue du Faubourg-Saint-Honoré.

PERNET, Professeur de Physique en retraite, faubourg de Paris, Maison de l'Arc, à Dôle.

PERNET (Dr **J.**), Karlsbad, 22, Berlin, W.

PERROT (**Paul**), Aide au Bureau international des Poids et Mesures, 191, boulevard Pereire.

PÉTROFF, Professeur à l'Institut Technologique de Saint-Pétersbourg (Russie).

PEUCHOT, Dessinateur et graveur, 10, rue de Nesles.

PEUCHOT, Ingénieur opticien, 4, rue des Bernardins.

PHILBERT, Ancien receveur des télégraphes, 32, faubourg de Fougères, à Rennes.

PHILIPPE, Professeur au Collège Sainte-Barbe, 21, rue Paradis.

PHILIPPON (**Paul**), Répétiteur au Laboratoire d'Enseignement de la Sorbonne, 166, boulevard Montparnasse.

PICOU, Ingénieur des arts et manufactures, à l'usine Edison, 5, rue du Parc, à Ivry-sur-Seine.

PILLEUX, 16, rue du Prévôt, à Beauvais.

MM.

PIONCHON, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

PITANGA (**Epiphanio**), Professeur à l'École Polytechnique de Rio-Janeiro, 50, rua do Marquez d'Abrantes.

PLANTÉ (**Gaston**), 12, rue des Vosges.

PLATZER (**H.**), Professeur de Mathématiques, 11, rue Miromesnil.

PLOIX (**Charles**), Ingénieur hydrographe de la Marine, 47, rue de Verneuil.

POINCARÉ, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, 4, carrefour de l'Odéon.

POINCARÉ (**Lucien**), Agrégé, Préparateur de Physique à la Faculté des Sciences, 4, carrefour de l'Odéon.

POIRÉ, Professeur au Lycée Condorcet, 95, boulevard Malesherbes.

POLLARD (**Jules**), Ingénieur des constructions navales, 41, rue de la Rampe, à Brest.

PONSELLE (**George**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 19, rue de Madrid.

POPP (**Victor**), Administrateur-directeur de la Compagnie des horloges pneumatiques, 6, rue Franche-Comté.

POTIER, Ingénieur en chef des mines, Professeur à l'École Polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel.

POUSSIN (**Alexandre**), Ingénieur au Château de La Houblonnière, par Lisieux.

PRÉAUBERT (**E.**), Professeur au Lycée, 13, rue Proust, à Angers.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Londres.

PRÉSIDENT (le) de la Société de Physique de Saint-Pétersbourg.

PUJALET, Préparateur au Collège Rollin, 12, avenue Trudaine.

PUPIN, Secrétaire de la Faculté de Médecine de Paris.

PUYFONTAINE (Comte **de**), 34, avenue Friedland.

RADIGUET (**fils**), Opticien constructeur, 15, boulevard des Filles-du-Calvaire.

RAFFARD, Ingénieur, 16, rue Vivienne.

RAMEAU (**l'abbé**), Professeur de Physique à l'Institution Saint-Cyr, à Nevers.

RANQUE (**Paul**), Docteur en Médecine, 13, rue Champollion.

RAYET, Professeur à la Faculté des Sciences de Bordeaux.

RAYMOND, Ingénieur des constructions navales, à Lorient.

RECHNIEWSKI, Ingénieur, 25, rue de la Montagne-Sainte-Geneviève.

RECOURA (**Albert**), Agrégé préparateur au Collège de France, 18, rue de la Sorbonne.

REDIER, Constructeur, 8, cour des Petites-Écuries.

RÉGNARD, Sous-Directeur du Laboratoire de Physiologie de la Faculté des Sciences, 46, boulevard Saint-Michel.

REISET, Membre de l'Institut, 2, rue de Vigny.

RENARD, Chef de bataillon du Génie, 7, avenue de Trivaux, à Meudon.

RENAULT, Licencié ès Sciences physiques, 13, rue Méchain.

REY (**Casimir**), Professeur de Mathématiques à l'École du Génie, 25, boulevard de la Reine, à Versailles.

MM.

REYNIER (**Émile**), Ingénieur électricien, 3, rue Benouville.

RIBAIL (**Xavier**), Ingénieur de la traction au Chemin de fer de l'Ouest, 6, rue de Constantinople.

RIBAN (**Joseph**), Directeur adjoint du Laboratoire d'enseignement chimique et des Hautes Études, 85, rue d'Assas.

RICHARD, Ingénieur-Constructeur, 8, impasse Fessart (Belleville).

RICHET (**Th.**), Professeur agrégé à la Faculté de Médecine, 15, rue de l'Université.

RIGOUT, Préparateur de Chimie à l'École des Mines.

RIVIÈRE (**Charles**), Professeur au Lycée Saint-Louis, 17, rue Gay-Lussac.

ROBIN (**P.**), Directeur de l'orphelinat Prévost, appartenant au département de la Seine, à Cempuis (Oise).

ROBLES (**José de**), Ingénieur agronome, calle del General Castagnos, 7, à Madrid (Espagne).

ROCANDÉ (**Olivier R.**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 65, quai de Seine, à Courbevoie.

RODDE (**Ferd.**), 7, rue du Delta.

RODDE (**Léon**), 107, rua do Ouvidor, à Rio-Janeiro (Brésil).

RODOCANACHI (**Emmanuel**), 42, avenue Gabriel.

ROGER (**Albert**), rue Croix-de-Bussy, à Épernay.

ROGER, ancien Chef d'Institution, 161, rue Saint-Jacques.

ROGNETTA (**F.-B.**), Ingénieur, 62, via Borgonuovo, à Turin (Italie).

ROIG Y TORRES (**Raphaël**), Professeur à la Faculté des Sciences de Barcelone (Espagne).

ROISIN (**Paul**), ancien Élève de l'École Polytechnique, 42, rue des Fourneaux.

ROMILLY (**de**), 8, rue de Madrid.

ROOSEVELT, Ingénieur, au château de Bray, par Saint-Perret (Ardèche).

ROSENSTIEHL, Chimiste, Directeur de l'usine Poirier, 114, route de Saint-Leu, à Enghien.

ROUBY (**Emmanuel**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 46, rue Notre-Dame-des-Champs.

ROUSSEAU, Professeur à l'Université, 20, rue Vauthier, à Ixelles-Bruxelles.

ROUSSEAU (**Paul**), Fabricant de produits chimiques, 17, rue Soufflot.

ROUSSELET, Professeur au Lycée de Nîmes.

ROUSSELOT (l'abbé), 74, rue de Vaugirard.

ROUX (**Gaston**), Préparateur à l'École de Physique et de Chimie industrielles, engagé conditionnel au 82e de ligne, 1er bataillon, 4e compagnie, à Montargis.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Émile**), Ingénieur à la Compagnie du gaz, 85, avenue de Villiers.

SAINTE-CLAIRE DEVILLE (**Henri**), Ingénieur des Manufactures de l'État, 3, place Péreire.

SAINT-LOUP, Doyen de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand.

SALADIN, Ingénieur civil des Mines, 2, avenue Malakoff.

MM.

SALCHER (**Dr P.**), Professeur à l'Académie Impériale de Fiume (Autriche-Hongrie).

SALET, Maître de conférences à la Faculté des Sciences, 120, boulevard Saint-Germain.

SAMBOURG (**Ch.**), Inspecteur Ingénieur des Lignes télégraphiques, 6, rue de la Porte-Maillot.

SANDOZ (**Albert**), Préparateur des Travaux pratiques de Physique à la Faculté de Médecine, 40, rue d'Ulm.

SARCIA (**Gril**), Capitaine d'Artillerie de Marine, 76, rue de Rochechouart.

SARRAU, Membre de l'Institut, Ingénieur en chef des Poudres et Salpêtres, professeur de Mécanique à l'École Polytechnique, 9, avenue Daumesnil.

SAUTTER (**Gaston**), Ingénieur, 26, avenue de Suffren.

SAUVAGE (**Henri**), Inspecteur des Postes et des Télégraphes, à Évreux, rue de l'École Normale.

SCHAEFFER, Chimiste, à Dornach, près Mulhouse (Alsace).

SCHNEIDER (**Théodore**), Professeur de Chimie à l'École Monge, 40, rue du Four.

SCHODDUIJN (l'abbé), Professeur de Sciences, à l'Institution Saint-Joseph, à Gravelines.

SCHWEDOFF, Professeur à l'Université d'Odessa (Russie).

SCIAMA, Ingénieur civil des Mines, directeur de la maison Bréguet, 10, rue Sainte-Anne.

SEBERT, Colonel d'Artillerie de Marine, Directeur du laboratoire central de la Marine, 13, rue de la Cerisaie.

SÉGUIN, ancien Recteur, 1, rue Ballu.

SEIGNETTE (**Adrien**), Licencié ès Sciences, 21, rue Tronchet.

SELIGMANN-LUI, Sous-Inspecteur des Télégraphes, 103, rue de Grenelle.

SERRÉ-GUINO, Examinateur à l'École de Saint-Cyr, 36, rue Saint-Placide.

SERRIN (**V.**), Ingénieur, 1, boulevard Saint-Martin.

SIMON, Pharmacien, à la Ferté-Fresnel (Orne).

SIMOUTRE (l'abbé), Professeur de Physique au grand séminaire de Nancy.

SIRE (**G.**), Docteur ès Sciences, Essayeur de la Garantie, à Besançon-Mouillière.

SIRVENT, Professeur au Lycée Saint-Louis, 106, rue de Rennes.

SOKOLOFF (**Alexis**), Professeur de Physique à l'Académie de Moscou (Russie).

SLOUGUINOFF, Professeur de Physique au cabinet de Physique de l'Université impériale de Kasan (Russie).

SORET, Professeur à l'Académie de Genève (Suisse).

SOLIGNAC, Ingénieur-Électricien, 247, rue Saint-Honoré.

SOMZÉE (**Léon**), Ingénieur honoraire des Mines, 117, rue Royale, à Bruxelles (Belgique).

STAPFER (**Daniel**), Ingénieur, boulevard de la Mayor, à Marseille.

STEPANOFF, Professeur de Physique, à Cronstadt (Russie).

STOKES (**G.-G.**), Professeur de Mathématiques à l'Université de Cambridge, Lensfield Cottage, Cambridge.

STOLETOW (**Al.**), Professeur à l'Université de Moscou (Russie).

MM.

STRAUSS, Capitaine du Génie, Attaché au Dépôt des fortifications, 8, rue Saint-Dominique.

STREET (**Charles**), Ingénieur des Arts et Manufactures, 71, rue Treilhard.

STRUMBO, Professeur à l'Université d'Athènes (Grèce).

STSCHEGLAIEF (**Wladimir**), Professeur de Physique à la Haute-École technique de Moscou (Russie).

TACCHINI, Astronome, Directeur du Bureau météorologique d'Italie, à Rome.

TEISSERENC DE BORT (**Léon**), Chef du Service de Météorologie générale au Bureau central météorologique, Secrétaire général de la Société Météorologique de France, 82, avenue Marceau.

TEISSIER, Professeur au Lycée, 5, rue de Lille, à Nice.

TEPLOFF, Colonel du Génie impérial russe, rue Vladimir Kaies, 15, maison Friedrichs, à Saint-Pétersbourg (Russie).

THENARD (le **baron Arnould**), chimiste agriculteur, 6, place Saint-Sulpice.

THIERCELIN, Ingénieur des Arts et Manufactures, 43, rue Madame.

THIESEN, adjoint au Bureau international des Poids et Mesures, au Pavillon de Breteuil, à Sèvres.

THOMPSON (**Silvanus-P.**), Professeur à Finsbury Technical College, Leonard street, Londres, E. C.

THOMSON (Sir **William**), F. R. S., Professeur à l'Université de Glasgow (Écosse).

THOUVENEL, Professeur au Lycée de Vanves, 130, boulevard Montparnasse.

THOUVENOT (**Clovis**), Ingénieur-Électricien de la Société générale d'Éclairage, Palazzo Chigi, à Rome.

THYRION, Professeur au Collège, 201, rue Saint-Merry, à Fontainebleau.

TIMIRIAZEFF, Professeur à l'Université et à l'Académie agronomique de Moscou (Russie).

TISSANDIER (**Gaston**), Directeur du Journal « *La Nature* », 19, avenue de l'Opéra.

TOMMASI (**Donato**), Professeur de Chimie, 13, rue Daru.

TOMMASI (**Ferdinando**), Ingénieur, 13, rue Daru.

TONARELLI, Censeur du Lycée de Périgueux.

TOUANNE (**de la**), Ingénieur des télégraphes, 13, rue Soufflot.

TRANNIN (**Henri**), Docteur ès Sciences, ancien Préparateur à la Faculté des Sciences de Lille, à Arras.

TRIPIER (le Dr), 41, rue Cambon.

TROTIN, Ingénieur des télégraphes, 38, quai Henri IV.

TROUVÉ (**G.**), Constructeur d'instruments de précision, 14, rue Vivienne.

TULEU, Ingénieur, 17, rue Visconti.

UCHARD (**A.**), Capitaine d'artillerie, 4, rue Maurepas, à Versailles.

UNIVERSITÉ DE SYDNEY (**New South Wales**).

VACHER (**Paul**), 45, rue de Sèvres.

MM.

VAGNIEZ BENONI, Négociant, 14, rue Lemerchier, à Amiens.

VALBY, Pharmacien de 1re classe, à Dijon.

VALETTE, Rédacteur au Journal « *Cosmos* », 8, rue François Ier.

VAN AUBEL (Edmond), Membre de la Société de Physique de Berlin, 107, rue de Louvrex, à Liège.

VAN BIERVLIET (Albert), 39, rue des Joyeuses-Entrées, à Louvain.

VANDENBROUCQUE, Professeur à l'Institution libre, à Marcq en Barœul (Nord).

VAN DER MENSBRUGGHE (Gustave-Léonard), Professeur de Physique mathématique à l'Université, 80, rue Coupure, à Gand (Belgique).

VAN DER VLIETH, Professeur de Physique à l'Université de St-Pétersbourg.

VARACHE, Professeur au Collège de Béziers.

VARENNE (de), Préparateur du Laboratoire de Physiologie générale au Muséum, 7, rue de Médicis.

VARIN, Professeur au Collège, à Épinal.

VASCHY, Sous-Ingénieur des Télégraphes, Répétiteur à l'École Polytechnique, 68, avenue Bosquet.

VAUCHERET, Colonel d'Artillerie, Directeur de la Section technique de l'Artillerie, 1, place Saint-Thomas-d'Aquin.

VAUTIER (Théodore), Chargé des conférences de Physique à la Faculté des Sciences, 30, quai Saint-Antoine, à Lyon.

VERDIN, Constructeur d'instruments pour la Physiologie et la Médecine, 6, rue Rollin.

VERRIER (Gabriel), Ingénieur électricien, Ancien élève diplômé de l'École centrale et de l'École supérieure de Télégraphie, 13, boulevard Saint-Germain.

VIEILLE, Ingénieur des Poudres et Salpêtres, Répétiteur à l'École Polytechnique, 19, quai Bourbon.

VILLARS, Maître de conférences à la Faculté et Professeur au Lycée de Montpellier.

VILLIERS (Antoine), Agrégé à l'École de Pharmacie, 30, avenue de l'Observatoire.

VILLY, Préparateur de Physique au Lycée Louis-le-Grand.

VIOLET (Léon), sous-directeur des ateliers Carpentier, 20, rue Delambre.

VIOLLE, Maître de conférences à l'École Normale, 89, boulevard Saint-Michel.

VION, Professeur à l'École primaire supérieure d'Amiens.

VLASTO (Ernest), Ingénieur, Administrateur de la Société anonyme de fabrication de produits chimiques, 44, rue des Écoles.

VOIGT, Professeur au Lycée, 30, rue des Gloriettes, à Lyon.

VOISENAT (Jules), Sous-Ingénieur des télégraphes, à Besançon.

WAHA (de), Professeur de Physique à Luxembourg (Grand-Duché de Luxembourg).

WALLON (E.), Professeur au Lycée Janson de Sailly, 65, rue de Prony.

WARREN DE LA RUE, Correspondant de l'Institut, 73, Portland Place, Londres, W.

MM.

WEISS, Ingénieur des Ponts et Chaussées, Préparateur de Physique à la Faculté de Médecine, 73, boulevard Saint-Michel.

WENDT (**Gustave**), Constructeur d'instruments de Physique (maison Hempel), 55, quai des Grands-Augustins.

WERLEIN (**Ivan**), Constructeur d'instruments d'Optique, 71, rue du Cardinal-Lemoine.

WEST (**Émile**), Ingénieur-Chimiste au Chemin de fer de l'Ouest, 13, rue des Saints-Pères.

WEYHER, Ingénieur, Administrateur-Directeur de la Société centrale de Construction de Machines, 36, rue Ampère.

WIEDEMANN (**Eilhard**), Professeur de Physique à Leipzig (Saxe).

WITZ (**Aimé**), Ingénieur civil, 104, boulevard Vauban, à Lille.

WOLF, Membre de l'Institut, Astronome à l'Observatoire de Paris, 1, rue des Feuillantines.

WROBLEWSKI (**Dr Sigismond de**), Professeur de Physique à l'Université de Cracovie (Autriche).

WUNSCHENDORFF, Ingénieur chargé de la construction des lignes souterraines, au Ministère des Postes et des Télégraphes, 97, rue de Rennes.

XAMBEU, 41, Grande-Rue, à Saintes.

YVON, Pharmacien, 7, rue de la Feuillade.

ZAHM (**J.-A.**), Professeur de Physique à l'Université Notre-Dame (Indiana) (États-Unis).

ZEGERS (**Louis-L.**), Ingénieur des Mines du Chili, Chacabuco, 57, à Santiago.

ZILOFF, Professeur de Physique à l'Université de Varsovie (Russie).

Mai 1888.

Prière d'adresser au Secrétaire général les rectifications et changements d'adresse.

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

SÉANCE DU 3 JANVIER 1887 5
Allocution de M. le colonel Sebert, président sortant 10

SÉANCE DU 21 JANVIER 1887 16
Liste des Ouvrages et Mémoires publiés par M. *Blavier* 20
Moteur électrique puissant et léger. Nouveau mode de construction de l'hélice. Nouveau commutateur à changement de marche et signal employé dans les embarcations électriques; par M. *Trouvé* 22

SÉANCE DU 4 FÉVRIER 1887 27
Rapport de la Commission des comptes 31

SÉANCE DU 18 FÉVRIER 1887 33
Recherches expérimentales sur la capacité inductive spécifique de quelques diélectriques; par M. *A. Palaz* 37

SÉANCE DU 4 MARS 1887 44
Sur la décomposition lente des chlorures par l'eau; par M. *G. Foussereau*. 48
Sur une théorie des phénomènes pyro-électriques; par M. *P. Duhem*... 59

SÉANCE DU 18 MARS 1887 67
Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude de certains composés qui se produisent dans les solutions d'acide tartrique; par M. *D. Gernez* 70
Sur la période variable d'un courant dans le circuit d'un électro-aimant de Faraday; par M. *A. Leduc* 74
Méthode d'hématoscopie et appareils pour l'analyse spectroscopique du sang; par M. le Dr *A. Hénocque* 83

SÉANCE DU 1er AVRIL 1887 93
Saccharimètre à projection; par M. *Léon Laurent* 97
Sur quelques nouveaux prismes polarisants; par M. *S.-P. Thompson*.. 100

SÉANCE DU 6 MAI 1887 105
Méthode stroboscopique pour comparer les durées de vibration de deux diapasons ou les durées d'oscillation de deux pendules; par M. *Lippmann* 109

SÉANCE DU 20 MAI 1887 113
Sur le volume moléculaire et l'énergie réfractive de quelques sels de soude; par M. *H. Dufet* 117

Pages

Mesure de la différence de potentiel vraie de deux métaux au contact; par M. *H. Pellat* 128

SÉANCE ANNUELLE. RÉUNION DES MARDI 31 MAI ET MERCREDI 1er JUIN 1887.. 132

SÉANCE DU 17 JUIN 1887 137
Sur la condition de stabilité du mouvement d'un système oscillant soumis à une liaison synchronique pendulaire; par M. *A. Cornu* 142
Sur la synchronisation d'une oscillation faiblement amortie. Indicatrice de synchronisation représentant le régime variable; par M. *A. Cornu*. 150
Recherches sur la densité de l'acide sulfureux à l'état de liquide et de vapeur saturée; par MM. *Cailletet* et *Mathias* 162

SÉANCE DU 1er JUILLET 1887 174
Dynamomètre totalisateur à courroie élastique; par M. *Raffard* 178

SÉANCE DU 15 JUILLET 1887 182
Détermination expérimentale des constantes des instruments d'optique; par M. *C.-M. Gariel* 186
Nouveau focomètre pour la détermination des constantes optiques des systèmes optiques en général; par M. *G.-E. Mergier* 193

SÉANCE DU 18 NOVEMBRE 1887 199
Recherches sur l'application du pouvoir rotatoire à l'étude des composés formés par l'action du molybdate d'ammoniaque sur les solutions d'acide tartrique; par M. *D. Gernez* 204
Abaque barométrique; par M. *Paul Robin* 209
Sur l'influence de la pression dans l'altération des chlorures par l'eau; par M. *G. Foussereau* 211
Sur la décomposition réversible de divers sels par l'eau; par M. *G. Foussereau* 216

SÉANCE DU 2 DÉCEMBRE 1887 220
Sur la dispersion des axes d'élasticité optique dans quelques cristaux clinorhombiques; par M. *H. Dufet* 224

SÉANCE DU 16 DÉCEMBRE 1887 226
Sur l'expérience des trois miroirs de Fresnel; par M. *Mascart* 229
Flotteurs pour indiquer la densité des couches des liquides hétérogènes; par M. *Paul Robin* 239
Liste des Ouvrages reçus en 1887 242
Liste des Membres 253

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

13938 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.